# GRUNDLAGENSTUDIEN

AUS

# KYBERNETIK

## UND GEISTESWISSENSCHAFT

BAND 9
HEFT 1

MÄRZ
1968

KURZTITEL
GrKG 9/1





INHALT



VERLAG SCHNELLE QUICKBORN

Neuerdings vollzieht sich eine immer stärker werdende Annäherung zwischen Natur- und Geisteswissenschaft als Auswirkung methodologischer Bestrebungen, für die sich das Wort Kybernetik eingebürgert hat. Die Einführung statistischer und speziell informationstheoretischer Begriffe in die Ästhetik, die invariantentheoretische Behandlung des Gestaltbegriffs und die Tendenzen, zwischen der Informationsverarbeitung in Maschine und Nervensystem Isomorphismen nachzuweisen, sind nur drei Symptome dafür.
Die Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft sollen der raschen Publikation neuer Resultate dienen, welche diese Entwicklung zu fördern geeignet sind. Veröffentlicht werden vor allem grundlegende Ergebnisse, sowohl mathematischer, psychologischer, physiologischer und in Einzelfällen physikalischer als auch philosophischer und geisteswissenschaftlicher Art. Nur in Ausnahmefällen werden dagegen Beiträge über komplexere Fragen der Nachrichtentechnik, über Schaltungen von sehr spezieller Bedeutung, über Kunst und literaturgeschichtliche Probleme etc. angenommen. In geringer Zahl werden Buchbesprechungen veröffentlicht.

*Erscheinungsweise: Viermal im Jahr mit je 32 bis 48 Seiten.*
*Beiheft: Im Jahr erscheint für Abonnenten ein Beiheft.*
*Preis: DM 4,80 je Heft und Beiheft.*
*Im Abonnement Zustellung und Jahreseinbanddeckel kostenlos. Bezug: durch Buchhandel oder Verlag.*
*Manuskriptsendungen: an Schriftleitung gemäß unserer Richtlinien auf der dritten Umschlagseite.*



Schriftleitung

Prof. Dr. Helmar Frank
Institut für Kybernetik
Berlin 46, Malteserstr. 74/100



Les sciences naturelles et les sciences humaines se rapprochent de plus en plus; ce rapprochement est une conséquence des tendances métodologiques appelées cybernetique. L'introduction en esthétique de termes statistiques et surtout de termes de la théorie de l'information, le fait de considérer mathématiquement la notion de Gestalt comme une invariante, et les tendances à chercher des isomorphismes entre la transformation de l'information par les machines et par le système nerveux sont seulement trois exemples du dit rapprochement.
Les «Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft» ont pour but de publier rapidement des résultats nouveaux capables de contribuer à ce dévéloppement. Surtout des résultats fondamentaux (soit de caractère mathématique, psychologique, physiologique et quelquefois physique — soit de caractère philosophique ou appartenant aux sciences humaines) sont publiés. Par contre des travaux concernant soit des questions assez complexes de la théorie de communication et télécommunication, soit des reseaux éléctriques ayant des buts trop spéciaux, soit des problèmes de l'histoire de l'art et de la litérature etc. ne sont acceptés qu'exceptionnellement aussi que les comptes rendus de nouveaux livres.

*Il paraissent 4 numéros de 32 à 48 pages par an et un numéro spécial, pour les abonnes. Prix: DM 4.80 le numéro (et le numéro spezial) L'envoi et la couverture du tome complèt (à la fin de chaque année) est gratis pour les abonnés.*
*Les G KG sont vendus en librairie ou envoyés par les Editeurs Schnelle*
*Les manuscrits doivent être envoyés au rédacteur en chef. Quant à la forme voir les remarques à la page 3 de cette couverture.*

Rédacteur en chef

Prof. Dr. Helmar Frank
Institut für Kybernetik
Berlin 46, Malteserstr. 74/100

Natural and cultural sciences are in train to come together closer and closer as a consequence of methodologica- tendencies called cybernetics. The introduction of terms of statistics and specially of information theory into the terminology of esthetics, the interpretation of 'Gestalten' as mathematical invariants, and the search for isomorphisms by comparing information handling in computers and the brain are only three symptoms of the process mentioned above.
The Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft would like to cultivate this tendencies by rapid publication of new results related to cybernetics, especially results of basic interest, no matter whether belonging to the field of mathematics, psychology, physiology and sometimes even of physics, or rather to the fields of philosophy and cultural sciences. But papers which concern complex technical problems of transmission and processing of information, or electrical networks with very limited purpose, or the history of art and literature, are accepted only exceptionally. There will also be few recensions of books.

*G KG are published in 4 numbers each year, with 32-48 pages per number. A special number is edited each year for the subscribers.*
*Price: DM 4.80 per number (and spezical number) Mailing and cover of the volume (to be delivered together with the last number each year) is free for subscribers. The G KG may be received by booksellers or directly by the publisher.*

*Papers should be sent to the editors. For the form of manuscript see page 3 of this cover.*

Editor

Prof. Dr. Helmar Frank
Institut für Kybernetik
Berlin 46, Malteserstr. 74/100

EIN SCORE-FREIES ANALOGON ZUM REGRESSIONSKOEFFIZIENTEN

- Informationstheoretische Charakterisierung der Determination einer Endverteilung durch eine Anfangsverteilung -

von Karl Eckel, Frankfurt a. Main

1 Wir betrachten einen Anfangszustand $z_j$. (Wegen der Terminologie vgl. die im Schrifttumsverzeichnis angeführten Arbeiten.) In diesem Zustand mögen alle Adressaten sein, die bestimmte Fragen des Anfangstests falsch und die restlichen richtig beantwortet haben: $z_j = \bar{f}_1 \bar{f}_2 \ldots \bar{f}_g f_{g+1} \ldots f_r$. Weiter betrachten wir ein Zustandssystem des Endtests, das der Einfachheit halber lediglich aus zwei Zuständen $z_1'$ und $z_2'$ bestehen möge. Beide Zustände sind dadurch bestimmt, daß gewisse Fragen des Endtests falsch und die übrigen richtig beantwortet wurden. (In früheren Arbeiten wurde anstelle von "E" "W" verwendet.)

| | | | $N_j$ $Z_j$ ANFANG |
|---|---|---|---|
| ENDE | $N_1'$ | $Z_1'$ | $E_{1j}$ |
| | $N_2'$ | $Z_2'$ | $E_{2j}$ |

$$E_{1j} = \frac{N_{1j}}{N_j} \; ; \; E_{2j} = \frac{N_{2j}}{N_j}$$

$$E_{1j} + E_{2j} = 1$$

$E_{1j}$ bzw. $E_{2j}$ bezeichnen die Bruchteile der Adressaten, die vom Zustand $z_j$ in den Endzustand $z_1'$ bzw. $z_2'$ übergegangen sind.

Das Wesentliche der hier vorgetragenen Überlegungen besteht nun im folgenden: Wir sagen:

(1) Der Anfangszustand $z_j$ determiniert das "Ende" dann am stärksten, wenn alle Adressaten in nur einen der beiden Endzustände übergehen;

(2) $z_j$ determiniert am schwächsten, wenn die Hälfte der Lernenden nach $z_1'$ und die andere Hälfte nach $z_2'$ geht.

Die Übergangsverteilungen sehen so aus:

(1) $\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ oder $\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$ (2) $\begin{pmatrix} 1/2 \\ 1/2 \end{pmatrix}$

Der Determinationsgrad der anderen möglichen Verteilungen liegt zwischen denen von (1) und (2).

$$\lambda = \frac{1 - \dfrac{\sum\limits_{j=1}^{s} p_j \max E_{ij}}{\max(\sum\limits_{j=1}^{s} p_j E_{ij})}}{1 - \dfrac{1}{\max(\sum\limits_{j=1}^{s} p_j E_{ij})}}$$

weil im Gegensatz zur Bestimmung von $\lambda$ bei der Berechnung von D jedes Glied der Übergangsverteilungen Berücksichtigung findet. In $\lambda$ gehen nur die größten $E_{ij}$ der einzelnen Spalten der Übergangsmatrix ein.

## 5 Zusammenfassung:

Es wurde

(1) ein scorefreies, skalares Determinationsmaß D definiert, das empfindlicher als das $\lambda$ -Kontingenzmaß ist;

(2) ein scorefreies, vektorielles Determinationsmaß $\vec{D}$ definiert, das die Abhängigkeit der Determination des Endzustandssystems von den verschiedenen Zuständen des Anfangszustandssystems zeigt.

Schrifttumsverzeichnis


Eckel, Karl — Vorschläge zur Definition empirischer Lernbegriffe. In: Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, 4, Klett, Stuttgart, und Oldenbourg, München, 1966 a

Eckel, Karl — Stichwörter: Lernzustand; Lernwirkung In: Lexikon der kybernetischen Pädagogik und der Programmierten Instruktion, Schnelle, Quickborn, 1966 b

Goodman, L.A.
Kruskal, W.H. — Measures of association for cross classifications. In: J. Amer. Stat. Ass. 49, 732, 1954


Eingegangen am 3. November 1967

Anschrift des Verfassers:

Oberstudienrat Karl Eckel, Deutsches Institut für Internationale Pädagogische Forschung, 6 Frankfurt am Main-West, Schloßstr. 29-31

# EIN MODELL FÜR DIE ERSTELLUNG UND ABARBEITUNG ADAPTIVER ALGORITHMISCHER SPRACHPROGRAMME

von Klaus **Bung**, Cambridge, England

Die Programme, auf die sich der Titel dieses Artikels bezieht, sollen adaptiv und algorithmisch sein. Die beiden Ausdrücke sind nicht gleichbedeutend. Ein Lehrer ist gewöhnlich adaptiv, denn seine Lehrstrategien richten sich nach den Leistungen und nach dem Verhalten seiner Schüler. Das Verhalten des Lehrers ist gewöhnlich nicht algorithmisch, denn es beruht nicht auf expliziten Regeln, sondern auf Intuition. Algorithmische Verfahren (vgl. Landa 1967) sind explizit und wirksam. Alle Personen, die das Verfahren gelernt haben, werden sich, wenn die gleichen Umstände gegeben sind, in genau der gleichen Weise verhalten, und, wenn das gleiche Problem gestellt ist, zur selben Lösung gelangen.

## Erstellung

Das ALP-Modell (ALP = adaptive algorithmic language programme) (Bild 1) enthält generative Grammatiken (zur Definition und Arbeitsweise siehe Chomsky, 1965 und 1967 und Baumgärtner, 1963) der Muttersprache M und der Zielsprache Z. Der Problemselektor $PS_{\iota}$ enthält eine Liste von Fragen, die an Z gerichtet werden. Der Problemselektor $PS_{\sigma}$ enthält eine Liste von Fragen, die sowohl an M als auch an Z gerichtet werden. Die logischen Bedingungen von zwei Mengen von Algorithmen $\pi_{\iota}$ und $\pi_{\sigma}$ beziehen sich auf die Antworten auf die Fragen von $PS_{\iota}$ und $PS_{\sigma}$. Die Operatoren von $\pi_{\iota}$ und $\pi_{\sigma}$ können Änderungen in der universalen Aufgabenanalyse (dargestellt in dem $\Delta$ -Diagramm, Bild 2) bewirken. $\Delta$ gibt für alle Kombinationen von M und Z an, in welcher Reihenfolge die verschiedenen Sprachfertigkeiten gelernt werden müssen.

Das $\Delta$ -Diagramm behandelt die Kommunikationsfertigkeiten, definiert als die Fertigkeiten, die zum Führen einer Unterhaltung oder eines Briefwechsels erforderlich sind. (Für die Konversionsfertigkeiten, nämlich Transkription, Vorlesen, Übersetzen und Dolmetschen, ist ein entsprechendes Diagramm zu erstellen.) $\Delta$ besteht aus zwei horizontalen SCHICHTEN+) (LAYERS), von denen die obere die programmierbaren und die untere die nicht programmierbaren Fertigkeiten enthält. Vertikal zerfällt $\Delta$ in zwei KOMPONENTEN, die akustische und die graphische. Jede Komponente enthält eine Anzahl von numerierten SEKTIONEN, deren jede einem mehr oder weniger unabhängigen Programm entspricht. $\Delta$ versucht, genauer zu zeigen, inwieweit eine Unabhängigkeit der in den Sektionen dargestellten Fertigkeiten voneinander möglich und

+) Termini technici erscheinen in Blockschrift

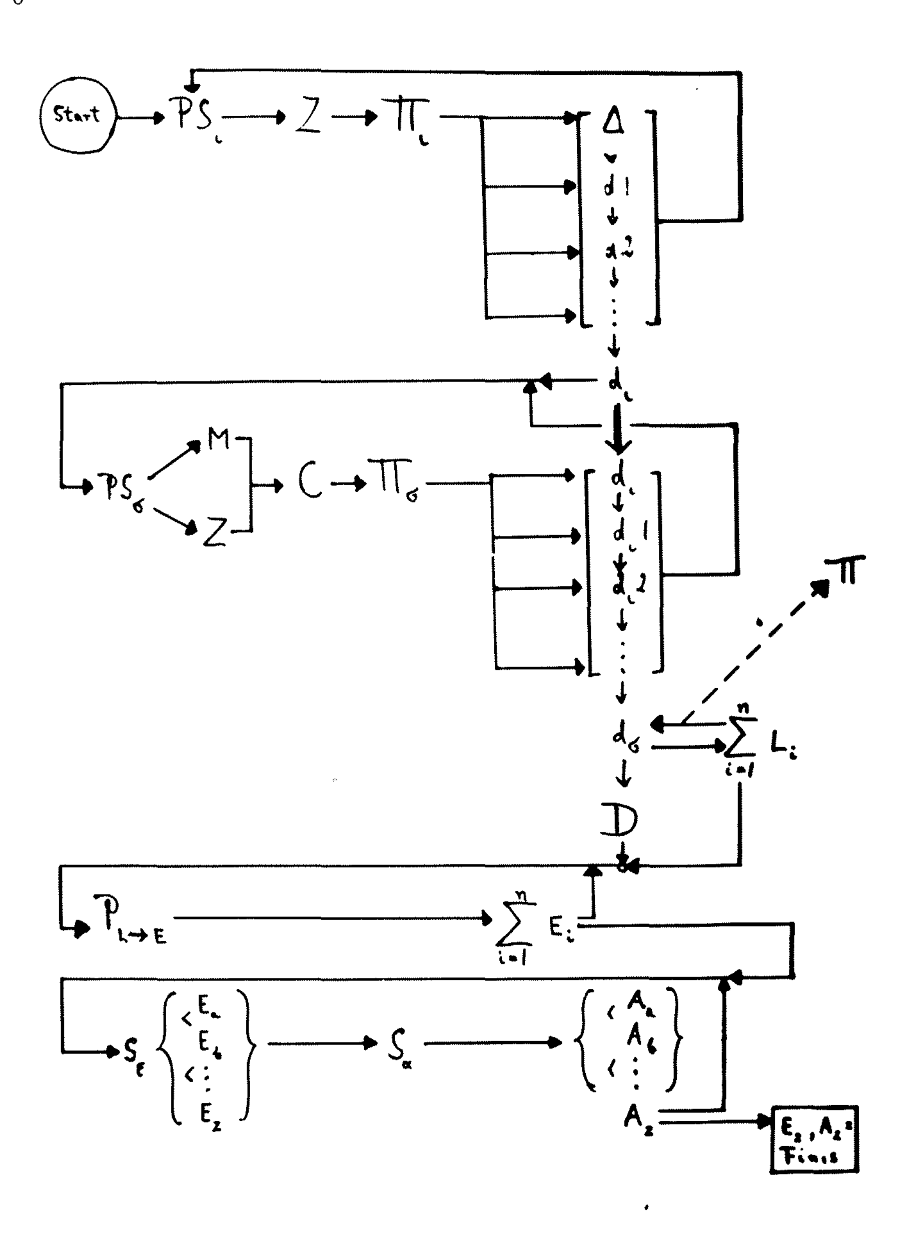
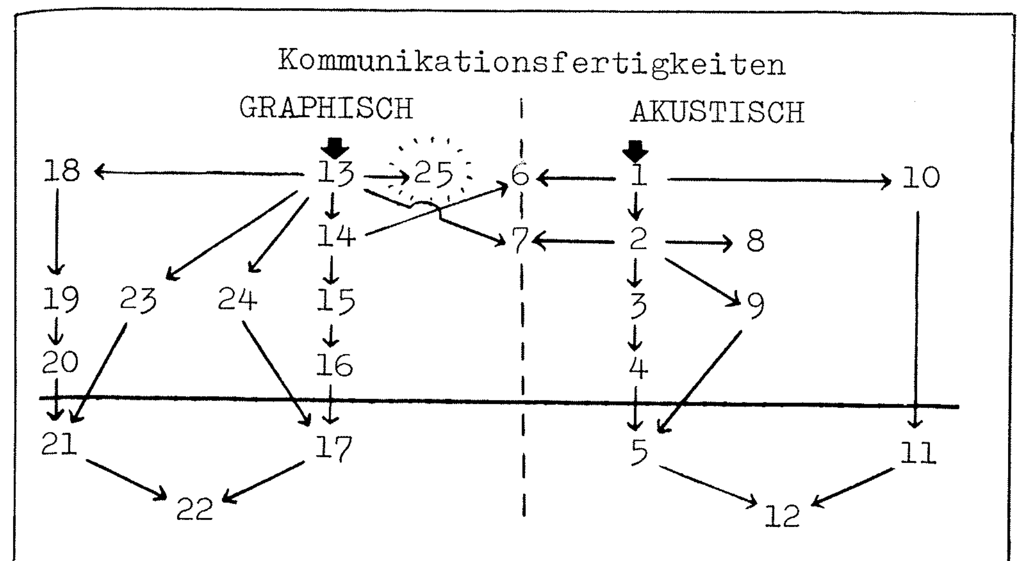



Bild 1: Das ALP-Modell




Schlüssel zum △ -Diagramm:
1 Lautdiskriminierung, 2 Nachsprechen, 3 Satzfragmente, 4 Satzstruktur, 5 Freies Sprechen, 6 Diktat, 7 Lautes Lesen, 8 Feste Redewendungen, 9 Vokabular, 10 Verstehendes Hören mit Hilfen, 11 Freies Verstehen, 12 Konversation, 13 Zeichenerkennung, 14 Nachschreiben , 15 schriftlicher Ausdruck, 16 Benutzung einer Grammatik zum Schreiben von Z, 17 Freies Schreiben, 18 Systematisches Raten, 19 Verstehendes Lesen, 20 Grammatik zum Lesen von Z, 21 Freies Lesen, 22 Korrespondenz, 23 Wörterbuch zum Lesen von Z, 24 Wörterbuch zum Schreiben von Z, 25 Formelle Grammatik.

Bild 2: Das △ -Diagramm

eine Abhängigkeit nötig ist. Praktischer Zweck dieses Versuches ist es, den Wünschen des Lehrers und des Schülers im Programm so weit wie möglich Rechnung zu tragen, ohne dabei die Wirksamkeit der Instruktion zu gefährden und ohne das Programm auf modische Dogmen festzulegen. Die Sektionen 6 und 7 gehören zu keiner Komponente ausschließlich und gehören, als Konversionsfertigkeiten, nicht eigentlich zu Δ ; sie haben im Diagramm hauptsächlich den Zweck, die beiden Komponenten miteinander zu verbinden. Die Sektionen bilden KETTEN (STRINGS), deren Glieder durch PFEILE verbunden sind. Die Pfeile, die zu einer Sektion hinführen, bezeichnen die für diese Sektion erforderlichen Vorkenntnisse. Wenn mehrere Pfeile zu einer Sektion führen, so bedeutet das nicht zwei wahlfreie Wege zu dieser Sektion, sondern daß mehr als eine Art Vorkenntnisse erforderlich sind. Die Ketten, die aus eingerahmten Sektionen bestehen, stellen die REZEPTIVEN Fertigkeiten dar, diejenigen die aus nicht eingerahmten Sektionen bestehen, die PRODUKTIVEN (oder teilproduktiven) Fertigkeiten. Die zwei dickgedruckten Pfeile an der Spitze des Δ -Diagramms bezeichnen die EINGANGSPUNKTE (ENTRY POINTS) der graphischen bzw. der akustischen Komponente. An den Eingangspunkten sind keine Vorkenntnisse in der Fremdsprache, sondern nur Kenntnis der Muttersprache erforderlich. Die letzte Sektion, die ein Schüler bearbeitet, bevor er sein persönliches Studienziel erreicht, heißt ENDPUNKT (TERMINAL POINT). Die Endpunkte liegen für viele Schüler, aber nicht für alle in der nicht programmierbaren Schicht. In der Regel müssen aus allen Sektionen, wenn sie sinnvoll sein sollen, Pfeile direkt oder indirekt in die untere Schicht führen. (Die Ausnahmen zu dieser Regel sind bei Bung, 1967, S. 187-279, gerechtfertigt. Daselbst sind auch der Inhalt und die Anordnung der einzelnen Sektionen ausführlich besprochen.) Sektion 3 benutzt als Stimuli ausschließlich Fragen und dient vornehmlich dem Erlernen paradigmatischer Beziehungen. Sektion 4 behandelt syntagmatische Beziehungen innerhalb eines Satzes, einschließlich der grammatischen Beziehungen zwischen aufeinanderfolgenden Sätzen. Sektion 15 behandelt sowohl paradigmatische als auch syntagmatische Beziehungen. Die größten Programmierungsschwierigkeiten treten da auf, wo ´performance´ und ´competence´ (s. Chomsky 1965, S. 3f) eines Muttersprechers+) am meisten von einander abweichen. Nach Maßgabe der Häufigkeit und dem Grad der zu erwartenden Abweichungen erwarten wir die geringsten Schwierigkeiten in Sektion 3, mehr Schwierigkeiten in Sektion 15 und die meisten Schwierigkeiten in Sektion 4. Die einzelnen Sektionen von Δ sind in der endgültigen Fassung von Δ in eine große Zahl von Untersektionen zu zerlegen.

---

+) als Eindeutschung des unübersetzbaren ´native speaker´ vorgeschlagen

$\Delta$ gibt, wie schon gesagt, für alle Kombinationen von M und Z an, in welcher Reihenfolge die verschiedenen sprachlichen Fertigkeiten zu lernen sind. Für spezifische Sprachen M und Z muß $\Delta$ in das spezifische Aufgaben-Diagramm D überführt werden, bevor das Programm erstellt werden kann. Die $\pi_\iota$ -Regeln sind folgender Art: 'Wenn Z so und so beschaffen ist, dann ändere das $\Delta$-Diagramm auf folgende Weise' oder 'Wenn Z so und so beschaffen ist, kann $\Delta$ unverändert bleiben'. Die $\pi_\iota$ -Regeln werden wiederholt angewendet, bis die Liste der Fragen in $PS_\iota$ erschöpft ist. Bei jeder Anwendung einer $\pi_\iota$ -Regel kann das $\Delta$ -Diagramm (nach Maßgabe der Regel) weiter verändert werden, wobei es Übergangsstadien $d_1$, $d_2$ usw. durchläuft. Die letzte Anwendung einer $\pi_\iota$ -Regel resultiert in dem Übergangs-Diagramm $d_\iota$ .

Danach richtet der Problemselektor $PS_\sigma$ identische Fragen an M und Z, und die Antworten werden von dem Komparator C verglichen. Programmierungsregeln $\pi_\sigma$ nehmen Bezug auf die Ausgabe von C und können weitere Veränderungen in den Übergangsdiagrammen $d_i$ bewirken. Die $\pi_\sigma$ -Regeln sagen etwa: 'Wenn folgende Beziehung zwischen gewissen Eigenschaften von M und Z besteht, dann ist das $d_\iota$-Diagramm auf folgende Weise zu ändern oder es bleibt unverändert'. Als Ergebnis der wiederholten Anwendung von $\pi_\sigma$ -Regeln durchläuft $d_\iota$ die Stufen $d_{\iota_1}$ , $d_{\iota_2}$ usw. Die letzte Anwendung einer $\pi_\sigma$ -Regel resultiert in dem Übergangs-Diagramm $d_\sigma$ .

Wenn die Theorie, d.h. hier besonders die $\pi$ -Algorithmen, vollkommen ist, dann sollte $d_\sigma$ mit dem gesuchten spezifischen Aufgaben-Diagramm D identisch sein. D muß so angeordnet sein, daß linguistische Algorithmen (binäre Flußdiagramme)(Beispiele in Bung 1967, S. 216-221 und S. 226-230) an Stelle jeder Untersektion von D treten können und daß diese Algorithmen dann keine Vorkenntnisse verlangen, die der Schüler noch nicht besitzt, wenn er die fragliche Untersektion erreicht. Mit anderen Worten, D ist eine arbeitsfähige Anordnung aller linguistischen Algorithmen, die dem zu erstellenden Programm zugrundeliegen.

Auf der Grundlage von $d_\sigma$ konstruieren wir alle linguistischen Algorithmen, die für das Programm benötigt werden. Nachdem wir einen Algorithmus konstruiert haben, prüfen wir, ob er in $d_\sigma$ paßt (d.h. an der durch die $\pi$ -Regeln angegebenen Stelle arbeitsfähig ist). Paßt er nicht, so versuchen wir, einen anderen Algorithmus zu finden, der paßt. Wenn wir keinen finden können, so ändern wir $d_\sigma$ , bis der Algorithmus paßt. Gleichzeitig versuchen wir, einen Fehler in den $\pi$ -Regeln zu finden und verändern die Regeln so, daß beim nächsten Gebrauch des Verfahrens (z.B. für ein anderes Paar M und Z) $d_\sigma$ D etwas ähnlicher sieht oder vielleicht sogar mit D identisch ist. So kann die Theorie fortlaufend ver-

bessert werden. Wir wiederholen dieses Verfahren, bis alle linguistischen Algorithmen L konstruiert und eingepaßt worden sind. In diesem Augenblick ist $d_6$ zu D geworden. Die linguistischen Algorithmen in der durch D festgelegten Anordnung sind die Grundlage des Programms. Das Programm ist eine endliche Menge von Übungen E. Jede Übung E besteht aus einer endlichen Menge von isomorphen (d. h. innerhalb der Übung austauschbaren) Aufgaben A. Jede Aufgabe besteht laut Definition aus mindestens einem Stimulus und einem Respons. Darüberhinaus kann eine Aufgabe auch noch *ein* Lehrquant enthalten.

Die linguistischen Algorithmen werden auf Grund von Programmierungsregeln $P_{L \rightarrow E}$ in Übungen umgewandelt. Wenn alle diese Regeln angewandt worden sind, ist das Programm fertig. Wir können unsere Aufmerksamkeit nun dem Schüler zuwenden, der es durcharbeitet.

### Abarbeitung

Die Arbeit des Schülers wird von Selektionsalgorithmen $S_\varepsilon$ und $S_\alpha$ gesteuert. $S_\varepsilon$ steuert die Aufeinanderfolge der Übungen E, und $S_\alpha$ steuert die Aufeinanderfolge der Aufgaben A innerhalb einer Übung. $S_\varepsilon$ simuliert das Verhalten eines Lehrers. $S_\varepsilon$ berücksichtigt viele Parameter; z. B.

1 die Anfangsposition des Schülers in D
2 den Endpunkt des Schülers in D
3 den Lernzweck des Schülers (z. B. Tourist oder Spion)
4 das besondere Talent oder die Talentlosigkeit des Schülers für bestimmte Teilfertigkeiten
5 die relative Wichtigkeit gegebener Teilfertigkeiten für einen gegebenen Schüler
6 Das Bedürfnis des Schülers nach Abwechslung (dieses ändert sich von Schüler zu Schüler und hängt teilweise davon ab, wie lange er in einer bestimmten Sektion arbeiten kann, ohne müde zu werden)
7 die Vorurteile des Schülers bezüglich gewisser Lehrmethoden, die er mag oder nicht mag
8 die pädagogischen Vorurteile des Lehrers oder der Person, die den programmierten Selbstunterricht überwacht, vorausgesetzt, daß diese Vorurteile nicht gegen die Mindesterfordernisse vernünftigen Unterrichtens verstoßen, die in D fixiert sind.

Sobald $S_\varepsilon$ die erste Übung $E_a$ gewählt hat, tritt ein Selektionsalgorithmus $S_\alpha$ in Aktion. $S_\alpha$-Algorithmen wählen die Aufgaben, die dem Schüler vorgelegt werden, auf Grund eines Tests aus, der dem Schüler am Anfang jeder Übung ge-

geben wird, und auf Grund der Leistungen des Schülers, während er die Übung durcharbeitet. Sobald ein gewisses präzis definiertes Niveau (PASSING SCORE) erreicht ist und die Übung $E_a$ solchermaßen beendet ist, übernimmt $S_\varepsilon$ wieder die Steuerung und wählt die nächste Übung $E_b$, und so weiter, bis der Schüler eine Pause braucht oder der Endpunkt erreicht ist. (Ein Beispiel eines voll entwickelten $S_\alpha$-Algorithmus, der sogenannte RU-Algorithmus, ist bei Bung 1967, S. 30-52, vorgelegt und ausführlich besprochen worden.)

Schluß

Das weitreichendste Ziel des hier vorgelegten Modells ist, zur Basis zu dienen für die halbautomatische Erstellung von Sprachprogrammen und für die automatische Steuerung von Schülern, die mit solchen Programmen arbeiten. Die Verwirklichung des ersten Ziels liegt noch in der fernen Zukunft, nicht wegen der Beschränktheiten der Rechenautomaten, die verfügbar sind oder gebaut werden können, sondern wegen des Mangels an theoretischen Grundlagenstudien. Heute wird viel Kapital durch schlecht geplante und unrationell gebrauchte Sprachlabors vergeudet. Lehrer und Sprachwissenschaftler sind dafür zu tadeln, daß sie die Entwicklung der 'hardware' den Ingenieuren überlassen und ihnen nicht rechtzeitig adäquate pädagogische Modelle geliefert haben. Modelle und Theorien müssen geraume Zeit vor der 'hardware' konstruiert werden.

Obwohl es noch eine lange Zeit dauern kann, bevor wir die halbautomatische Erstellung von Sprachprogrammen erzielen können, wird jeder Schritt zu größerer Verfeinerung des Modells die Erstellung von Programmen mit konventionellen Methoden erleichtern. Insbesondere wird das Modell die Definition und Verteilung von Aufgaben erleichtern, wenn Programmierer in Gruppen arbeiten. Ein allgemein akzeptiertes Modell könnte auch die Kraft- und Geldverschwendung beseitigen, die entsteht, wenn viele Teil-Programme entwickelt werden, die sich eines Tages nicht miteinander vereinigen lassen.

Ein erster Schritt in der automatischen Erstellung von Lehrprogrammen ist im letzten Jahr von Helmar Frank (1967) bekanntgemacht worden. Ihm gelang es, einen Siemens 303 P Rechner ein Vokabelprogramm für Deutsch-Mongolisch und Deutsch-Englisch in einer Form ausdrucken zu lassen, die in genau der physischen Gestalt, in der sie aus dem Rechner kam, in eine lineare Lehrmaschine eingelegt werden konnte. Der Rechner war mit Vokabellisten, allgemeinen Regeln für die Anordnung und Wiederholung der einzelnen Vokabelpaare und mit Matrixsätzen gespeist worden, in welche die Vokabeln vom Rechenautomaten einzubetten waren. Die Programme werden zur Zeit in einer Berliner Schule getestet.
Obwohl das Programm selbst, wie Helmar Frank recht wohl weiß, zur Zeit noch

sehr primitiv ist (indem es sich auf die Zuordnung von Paaren - paired associate learning - beschränkt und nicht adaptiv ist), stellt es doch einen ersten Schritt dar auf dem Wege zur Verwirklichung von scheinbar nicht praktikablen Modellen. Weitere Fortschritte hängen nicht von den Elektroneningenieuren ab, sondern von der Entwicklung von adäquaten linguistischen und kybernetischen Modellen.

Schrifttumsverzeichnis


Bung, Klaus — Programmed learning and the language laboratory 2 (Programmierter Unterricht und das Sprachlabor 2). Longmac Ltd., 72 Tottenham Court Road, Londen W1. 1967

Baumgärtner, Klaus — Aufbau einer Chomsky-Grammatik. In: Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft, Bd. 4, 1963, S. 113-126

Chomsky, N. — Aspects of the theory of syntax (Zur Theorie der Syntax). MIT Press, Cambridge, Mass., 1965

Chomsky, N. — Remarks on nominalization (Bemerkungen zur Nominalisierung). Mimeographiert. 1967

Frank, Helmar — Zur Objektivierbarkeit der Didaktik In: Programmiertes Lernen und Programmierter Unterricht, Bd. 4, Nr. 1, S. 1-5, Berlin, 1967

Landa, L.N. — Algorithms and programmed instruction (Algorithmen und programmierter Unterricht). In: Klaus Bung (ed): Programmed learning and the language laboratory 1. Longmac Ltd., 72 Tottenham Court Road, London W1, 1967


Eingegangen am 24. Januar 1968

Anschrift des Verfassers:
Klaus Bung, Department of Linguistics, University of Cambridge, Sidgwick Avenue, Cambridge, England

# EINE AUTOMATENTHEORETISCHE DEUTUNG DES EINELEMENTIGEN LERNMODELLS DER STIMULUS SAMPLING THEORIE

von Gustav Feichtinger, Bonn

## 1. Einleitung

Die Stimulus Sampling Theorie nimmt in der mathematischen Lerntheorie einen hervorragenden Platz ein. Seit den bahnbrechenden Artikeln von Estes (1950) und Estes und Burke (1953) gewinnt die Stimulus Sampling Theorie (SST) unter den probabilistischen Beschreibungen von Lernprozessen an Bedeutung. Man vergleiche dazu den wohl ausführlichsten Übersichtsartikel von Atkinson und Estes (1963). Der gegenwärtige Stand der SST ermöglicht allerdings noch keine Interpretation der Reizelemente als irgendwelche neurophysiologische Einheiten, etwa als Rezeptorzellen. Der Hauptgrund der ausgiebigen Verwendung der SST dürfte wohl vielmehr in ihrer formalen Geschmeidigkeit und in der guten Handhabbarkeit der Theorie der Markovketten liegen. Denn auf eine Anwendung dieses wichtigsten Teilgebietes der Theorie stochastischer Prozesse läuft - mathematisch gesehen - die SST hinaus (vgl. dazu Cox und Miller 1965, Feller, 1957).

In dieser Arbeit wollen wir an einem Spezialfall die Möglichkeit darlegen, das Stimulus Sampling Modell als Teilbereich der Automatentheorie aufzufassen. Es wird sich - hier am Beispiel des einelementigen Modells - zeigen, daß die Fragestellungen bei Lernvorgängen im Rahmen der SST ihrem Wesen nach auf Probleme der Theorie abstrakter Automaten führen. Über die Vorteile der hier vorgeschlagenen Betrachtungsweise werden gegen Ende noch einige Worte zu sagen sein.

## 2. Abriß aus der Stimulus Sampling Theorie

Ein Großteil der Arbeiten in der mathematischen Lerntheorie erfolgt heutzutage im Rahmen der SST. Um von der zitierten Literatur wenigstens einigermaßen unabhängig zu sein, schicken wir einige Grundtatsachen des Stimulus Sampling Modells vorweg. Es sei diesbezüglich auch auf das einführende Kapitel 8 von Atkinson, Bower und Crothers (1965) verwiesen.

Die SST kann als ein ganz bestimmter "approach" zur Analyse von Verhaltenssituationen aufgefaßt werden: Dabei werden Verhaltensweisen durch gewisse stimulierende Ereignisse angeregt, welche mit den Antworten assoziiert sind. Die konstituierenden Begriffe der Theorie sind: Reiz (stimulus), Antwort (response), Assoziation (association) und Verstärkung (reinforcement). Assoziation bedeutet hier eine funktionale Verbindung zwischen Reiz und Antwort. Man sagt auch: Die Antwort $a_i$ wird durch den Reiz $s_k$ bedingt (konditio-

niert). "Reinforcement" verweist auf ein hypothetisches Ereignis, durch welches Änderungen in den Reiz - Antwort (S-R)-Assoziationen geschaffen werden können.

Zu Beginn eines jeden Versuchs eines Lernexperimentes ist jeder Stimulus mit genau einer Antwort assoziiert. Der Wechsel in der S-R-Assoziation geht auf die Weise "alles oder nichts" vor sich; verstärkende Ereignisse können Assoziationen neu schaffen bzw. auslöschen. Die Definition der verstärkenden Ereignisse erfolgt gemäß S-R-Verknüpfungen, welche durch das betreffende Ereignis invariant bleiben. Hat man also r Antwortklassen $a_1, a_2, a_3, \ldots, a_r$ zur Verfügung, so sollen diesen die r verstärkenden Ereignisse $e_1, e_2, e_3, \ldots, e_r$ entsprechen. Ist der Stimulus $s_k$ mit der Antwort $a_i$ assoziiert, dann bedeutet $e_i$ jenes Ereignis, welches die Korrespondenz

$$s_k - a_i$$

ungeändert läßt. Wenn hingegen $s_k$ eine andere Antwort $a_j$ bedingt und $e_i$ auftritt, dann neigt $s_k - a_j$ zu einer Umassoziation:

$$s_k - a_i$$

Schließlich wird noch ein spezielles verstärkendes Ereignis $e_0$ eingeführt, welches den Status quo aller S-R-Korrespondenzen bewahrt.

Lernvorgänge werden also im Stimulus Sampling Modell mittels Umassoziationen jener Stimuli beschrieben, welche das lernende Subjekt affizieren. Die Reizelemente bleiben undefiniert, ähnlich etwa zu den Punkten in der Geometrie. Die SST macht also keine Aussagen betreffend das Wesen der Reize, sondern stellt ein formales Gerüst von Lernsituationen dar. Gerade auf diesem Mangel an Spezifikation beruht die Flexibilität und der Wert ihrer Allgemeinheit.

## 3. Axiome

Die Situation ist kurz folgendermaßen: Es existiert eine Grundgesamtheit von N Reizelementen $s_1, s_2, \ldots, s_N$. Anläßlich eines jeden Versuchs soll eine Stichprobe von Reizelementen - aufgrund der Korrespondenz S - R - das Subjektverhalten beeinflussen. Wir werden uns in unseren Ausführungen auf das einelementige Modell der SST beschränken (one-element model). Obwohl N-elementige Modelle ($N > 1$) den empirischen Daten oft besser gerecht werden, so offenbaren Lernmodelle mit nur einem Stimulus-Element schon wesentliche Züge der SST. Infolge ihrer formalen Einfachheit sind sie deshalb zum einführenden Studium gut geeignet. Die Grundidee der automatentheoretischen Deutung bleibt jedoch im wesentlichen auch für N-elementige Modelle erhalten. Weiter nehmen wir wie

üblich an, daß nur zwei Antwortklassen vorliegen, da der Ja-Nein-Fall in den Anwendungen weitaus am häufigsten vorkommt.

Wir geben nun zunächst die Axiome der SST an, zugeschnitten auf den Spezialfall nur eines Reizelements und zweier möglicher Antworten. In unserem Fall stimmt die Stichprobe trivialerweise mit der Grundgesamtheit der Reizelemente überein. Dadurch werden die Stimulus Sampling Axiome zu einem einzigen trivialen Postulat.

Darstellungsaxiome (representation axioms)

R 1. Es gibt ein Reizelement, welches symbolisch mit s bezeichnet werde.
R 2. Es existieren zwei verfügbare Antworten: $A = \{a_1, a_2\}$. Bei jedem Versuch tritt eine davon auf.
R 3. Es gibt drei verstärkende Ereignisse: $e_0$, $e_1$, $e_2$. Bei jedem Versuch findet eines davon statt. (Die Aussage: "Ereignis $e_i$ findet statt" werde mit "Antwort $a_i$ wird verstärkt" bzw. "$a_i$ war richtig" interpretiert.)

Konditionierungsaxiome (conditioning axioms)

C 1. Bei Beginn eines Versuches bedingt s genau eine Antwort. (Man sagt auch, daß vom Reizelement genau eine Antwort konditioniert wird.)
C 2. Mit einer Wahrscheinlichkeit c wird s derjenigen Antwort konditioniert, welche bei diesem Versuch verstärkt wurde (falls dies überhaupt der Fall ist). Mit Wahrscheinlichkeit 1-c bleibt s so konditioniert wie zuvor. Wenn s schon die verstärkte Antwort bedingt, so bleibt dies so.
C 3. Wenn $e_0$ auftritt, dann kommt es zu keiner Konditionierungsänderung von s.
C 4. Die Wahrscheinlichkeit c ist unabhängig von der Versuchsnummer und von den Ereignissen der vorhergehenden Versuche.

Stimulus Sampling Axiom

Anläßlich eines jeden Versuches wird s als "Stichprobe" gezogen.

Antwort Axiom

Anläßlich eines jeden Versuches wird jene Antwort gegeben, welche durch s konditioniert wird.

## 4. Konditionierende Zustände

Der Experimentator kann sich verschiedener Verstärkungsvorschriften (reinforcement schedules) bedienen. Unter einer Verstärkungsvorschrift versteht man ein Schema, welches dem Experimentator gestattet, zu entscheiden, welcher Ausgang (outcome) festgesetzt werden soll (eventuell im Hinblick auf die gegebenen Antworten). Der bisher am ausgiebigsten studierte Fall ist die soge-

nannte nonkontingente Verstärkungsvorschrift, wo jeder Ausgang eine feste Auftrittswahrscheinlichkeit besitzt. Die Wahrscheinlichkeit der $e_i$ ist dann über die Versuche hin konstant und unabhängig von den vorherigen Antworten und verstärkenden Ereignissen. Üblicherweise verwendet man für diese Wahrscheinlichkeiten folgende Notation:

$$\text{Prob}\left\{e_1\right\} = \pi \qquad \text{Prob}\left\{e_2\right\} = 1 - \pi$$

Wir wollen nämlich annehmen, daß die wirkungslose Bekräftigung $e_0$ (fast) nie vorkommt.

Die Information, welche bzw. wie viele Reizelemente welche Antworten bedingen, ist im Begriff des konditionierenden Zustandes (conditioning state) niedergelegt. Im einelementigen Fall mit zwei möglichen Antworten besteht die Menge der konditionierenden Zustände aus zwei Elementen:

$$C = \left\{c_1, c_2\right\}$$

Dabei bedeutet $c_1$, daß das Reizelement s die Antwort $a_1$ bedingt. Wird hingegen der Zustand $c_2$ angenommen, dann ist s mit $a_2$ assoziiert. Man verwendet den Namen "Zustände" für die $c_i$ deswegen, weil diese bei der Analyse des Lernvorganges als Zustände eines Markovprozesses auftauchen.

Ein Lernexperiment setzt sich aus aufeinanderfolgenden Versuchen zusammen. Zu Beginn eines jeden Versuches ist das Reizelement s in einem der beiden konditionierenden Zustände. Die Antwort erteilt das System in Abhängigkeit vom angenommenen Zustand:

$$c_1 \rightarrow a_1 \,,\; c_2 \rightarrow a_2$$

Je nach Art des auftretenden verstärkenden Ereignisses wechselt s seine Konditionierung. Die Modifizierung der jeweiligen S-R-Verbindung geschieht in Übereinstimmung mit den Konditionierungsaxiomen.

Der Ablauf eines Lernexperimentes ist durch die Aufeinanderfolge der bedingenden Zustände bestimmt, welche ihrerseits von den jeweiligen verstärkenden Ereignissen gesteuert wird. Infolge der Nonkontingenz und aufgrund der Konditionierungsaxiome kann ein solches Lernexperiment durch eine homogene Markovkette beschrieben werden. Der Leser ziehe diesbezüglich etwa Suppes und Atkinson (1960) Seite 10 ff. zu Rate. Dort wird erläutert, wie man die Übergangswahrscheinlichkeiten der Kette mittels der sogenannten "Baummethode" erhält. In komplizierteren Fällen ($N > 1$ bzw. $r > 2$) wird diese jedoch rasch unübersichtlich. Einfacher kann man die Übergangswahrscheinlichkeiten der bedingen-

den Zustände ermitteln, wenn man sich überlegt, daß ein lernendes Subjekt als ein stochastischer Automat begriffen werden kann.

## 5. Lernende Systeme als stochastische Automaten

Wir wollen nun ausführen, auf welche Weise das oben beschriebene einelementige Modell der SST als stochastischer Moore-Automat mit determiniertem Output beschrieben werden kann. Betreffs der verwendeten Grundbegriffe aus der Automatentheorie sei auf Starke (1965) verwiesen.

Wir fassen ein lernendes System $\mathfrak{S}$ als einen stochastischen Automaten auf, d.h.

$$\mathfrak{S} = (C, E, A, \Pi)$$

Die folgende erläuternde Gegenüberstellung legt nahe, daß zumindestens Teile der mathematischen Lerntheorie als der Theorie abstrakter Automaten zugehörig betrachtet werden können.

| Symbol | Lerntheorie | Automatentheorie |
|---|---|---|
| $\mathfrak{S}$ | lernendes Subjekt bzw. System | Stochast. Automat |
| $A = \{a_1, a_2\}$ | Antworten | Ausgabesignale |
| $E = \{e_1, e_2\}$ | bekräftigende Ereignisse | Eingabesignale |
| $C = \{c_1, c_2\}$ | bedingende Zustände | Zustände |

Jedem Eingabesignale $e \in E$ werde eine Transitionsmatrix

$$\mathfrak{P}_e = \begin{pmatrix} \text{Prob}\{c_1/c_1; e\} & \text{Prob}\{c_2/c_1; e\} \\ \text{Prob}\{c_1/c_2; e\} & \text{Prob}\{c_2/c_2; e\} \end{pmatrix}$$

zugeordnet, wobei Prob $\{c_j/c_i ; e\}$ die Übergangswahrscheinlichkeit (bedingte Wahrscheinlichkeit) $c_i \to c_j$ beim reinforcement e darstellt. Es gilt

$$\Pi = \{\mathfrak{P}_e / e \in E\}$$

Bei Ashby (1961) heißt ein solches System $\mathfrak{S}$ eine Markov-Maschine. Für eine Anwendung der Automatentheorie im Gebiet der linearen Lernmodelle sei auf Feichtinger (erscheint 1968 in den Statistischen Heften) verwiesen.

Setzt man der Einfachheit halber $\mathfrak{P}_{e_1} = \mathfrak{P}_1$ und $\mathfrak{P}_{e_2} = \mathfrak{P}_2$, so liefert das Axiom C 2:

$$\mathfrak{P}_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ c & 1-c \end{pmatrix} \quad \text{und} \quad \mathfrak{P}_2 = \begin{pmatrix} 1-c & c \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Wir haben am Anfang dieses Abschnitts angenommen, daß die verstärkenden Ereignisse $e_1$ bzw. $e_2$ mit den Wahrscheinlichkeiten $\pi$ bzw. $1 - \pi$ von außen (vom Experimentator her) auf $\mathfrak{S}$ einwirken. Neben den zufälligen Transitionen liegt also auch ein stochastischer Input vor. Aufgrund des zufälligen Eingabevorganges entspricht dem beschriebenen stochastischen System einfach ein homogener Markovprozeß mit der Matrix

$$\mathfrak{P} = \pi\,\mathfrak{P}_1 + (1-\pi)\mathfrak{P}_2 = \begin{pmatrix} c\pi + (1-c) & c(1-\pi) \\ c\pi & 1-c\pi \end{pmatrix}$$

Da jedem Zustand $c_i$ der Output $a_i$ $(i = 1,2)$ zugeordnet ist, so liegt ein stochastischer Moore-Automat mit determinierter Ausgabe vor.

Funktionsweise von $\mathfrak{S}$ : Zu Beginn des stochastischen Prozesses muß der bedingende Zustand bzw. die Zustandsverteilung festliegen. Daraus ergibt sich die Antwort bzw. deren Verteilung als Output. Je nachdem, ob als reinforcement $e_1$ oder $e_2$ auftritt, wirkt der lineare Operator $\mathfrak{P}_1$ oder $\mathfrak{P}_2$ auf die Zustandsverteilung. Die neue Verteilung hängt also nur von der alten und vom eingetretenen verstärkenden Ereignis ab.

In der mathematischen Lerntheorie ist das Verhalten (die gegebenen Antworten) von $\mathfrak{S}$ auf lange Sicht von Interesse. Diese stationären Wahrscheinlichkeiten des Modells werden dann mit den empirischen Werten eines Experiments verglichen. Aus der Matrix $\mathfrak{P}$ ergeben sich sofort für die Grenzwahrscheinlichkeiten der Antworten die folgenden plausiblen Werte:

Stationäre Wahrscheinlichkeit der Antwort $a_1$:

$$\text{Prob}\,\{a_1\} = \frac{c\pi}{c\pi + c(1-\pi)} = \pi$$

Stationäre Wahrscheinlichkeit der Antwort $a_2$:

$$\text{Prob}\,\{a_2\} = 1 - \pi$$

Worin liegt nun der Vorteil der Betrachtungsweise von Lernmodellen als stochastische Automaten? Zunächst wie ausgeführt in der übersichtlicheren Ermittlung von $\mathfrak{P}_1$ und $\mathfrak{P}_2$ und ihrer erst nachträglichen Kombination zu $\mathfrak{P}$ (im Vgl. zur direkten Herleitung von $\mathfrak{P}$ aus den Axiomen mittels der "Baummethode"). Ferner ist meiner Ansicht nach die Automatentheorie geeignet, ein vertieftes Verständnis für die Struktur und den Ablauf von Lernprozessen zu liefern. Schließlich liegt die Einordnung der mathematischen Lerntheorie (hier: eines Teiles der SST) unter die abstrakte Automatentheorie im Sinne der Kybernetik als "Brücke zwischen den Wissenschaften".

Zusammenfassung: Es wird gezeigt, auf welche Weise ein Lernmodell der Stimulus Sampling Theorie als stochastischer Automat aufgefaßt werden kann. Die Eingliederung der mathematischen Lerntheorie in die Systemtheorie ist für Theorie und Praxis der Kybernetik relevant.

Schrifttumsverzeichnis

Ashby, W. R. — An Introduction to Cybernetics. London, Chapman & Hall Ltd., 1961

Atkinson, R. C., Bower, G. H., Crothers, E. J. — An Introduction to Mathematical Learning Theory New York, Wiley, 1965

Atkinson, R. C., Estes, W. K. — Stimulus Sampling Theorie. In R. D. Luce, R. R. Bush and E. Galanter (Eds.), Handbook of Mathematical Psychology, Vol. II. New York, Wiley, 1963, S. 121-268

Cox, D. R., Miller, H. D. — The Theory of Stochastic Processes. London, Methuen, 1965

Estes, W. K. — Toward a statistical theory of learning. Psychol. Rev., 57, 1950, S. 94-107

Estes, W. K., Burke, C. J. — A theory of stimulus variability in learning. Psychol. Rev., 60, 1953, S. 276-286

Feichtinger, G. — Stochastische Automaten als Grundlage linearer Lernmodelle. Erscheint in den Statistischen Heften, 1968.

Feller, W. — An Introduction to Probability Theory and its Applications I. New York, Wiley, 1957

Starke, P. H. — Theorie stochastischer Automaten I. Elektronische Informationsverarbeitung und Kybernetik, Bd. 1, Heft 1, 1965

Suppes, P., Atkinson, R. C. — Markov Learning Models for Multiperson Interactions Stanford, Stanford Univ. Press, 1960

Eingegangen am 8. November 1967

Anschrift des Verfassers:
Dr. Gustav Feichtinger, Institut für Gesellschafts- und Wirtschaftswissenschaften der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 53 Bonn, Lennéstraße 37

# EINE MENGENTHEORETISCHE BESCHREIBUNG EINER FORMALEN THEORIE DES DIFFERENZIERENDEN GRUPPENUNTERRICHTS

von Manfred Leppig, Münster

Der Begriff des Gruppenunterrichts hat im schulpädagogischen Tagesgespräch einen festen Platz. Eine Zahl interessanter Veröffentlichungen betrachtet ihn aus verschiedenen Sichtweisen. Im Vordergrund stehen dabei sozialpädagogische und unterrichtspraktische Aspekte der Gruppenarbeit. Um eine Diskussion mit eindeutig definierten Begriffen zu ermöglichen, scheint eine Darstellung der Theorie des Gruppenunterrichts in einer exakten Sprache vonnöten, die insbesondere den Begriff des Unterrichtsprogramms berücksichtigt. Mit Hilfe der Mengenlehre läßt sich für den unterrichtstechnischen Aspekt der differenzierenden Gruppenarbeit ein Begriffssystem entwickeln, das die oftmals noch vage Terminologie in eine Sprache überführt, die präzise Aussagen zuläßt.

Gruppenunterricht arbeitet mit Mengen von Schülern und mit ausgezeichneten Teilmengen innerhalb einer Gesamtmenge von allen am Unterricht Beteiligten. Davon ausgehend gelingt es, den Begriffsapparat der Mengenlehre dem ins Auge gefaßten Vorhaben dienstbar zu machen. Zum Verständnis des Folgenden ist nötig, über die Grundbegriffe der Mengenlehre und über deren Arbeitsweise orientiert zu sein (vgl. Breuer, 1964, Fischer, 1956, Haupt, 1966 und Kamke, 1955).

Verwendung finden der Begriff der Menge M, der Begriff des Mengenelements $a \in M$, die Enthaltenseinrelation von Mengen $M_1 \subset M_2$ bzw. $M_1 \subseteq M_2$, die Mengengleichheit $M_1 = M_2$, Durchschnitt und Vereinigung von Mengen $M_1 \cap M_2$ bzw. $M_1 \cup M_2$, der Begriff der Mächtigkeit einer Menge M und der Begriff der leeren Menge mit dem Symbol $\emptyset$. An einer Stelle wird auf elementare Sätze der Verbandstheorie zurückgegriffen. Die grundlegenden und zu definierenden Begriffe für die formale Theorie des Gruppenunterrichts sind die Basismenge B, die Arbeitsgruppe A, das Gruppensystem $\mathfrak{G}$, das Arbeitsprogramm $\Pi$, das Unterrichtsschema U und dessen Charakterisierung (p, q, r), das Formelement E und die Form F. Daneben spielen die Begriffe des Merkmalsystems X und der Merkmalfunktion $\chi$ eine größere Rolle.

Die zuletzt angedeuteten Begriffe werden definiert und an Beispielen erläutert. Einfache Folgerungen und Sätze, die sich aus den Definitionen ergeben, werden eingefügt.

Basismenge, Arbeitsgruppe

(Die Beweise für die einfachen mengentheoretischen Aussagen dieses Kapitels findet man in allen Lehrbüchern über Mengenlehre.)

Ausgangspunkt für die Beschreibung der Struktur des Gruppenunterrichts ist die Basismenge. Eine Basismenge ist eine nichtleere, endliche Menge B, deren Elemente $a_1, a_2, \ldots, a_n$ Basiselemente heißen. Da die inhaltliche Interpretation der Basismenge im vorliegenden Fall stets eine Schülermenge sein wird, kann man sie Schülerbasis nennen. Eine Schülerbasis wird oft eine Schulklasse sein, ihre Elemente Schüler dieser Klasse. Die Anzahl der Elemente der Basismenge heißt die Frequenz der Basismenge, diese wird symbolisiert durch das Zeichen $|B|$.

> Beispiel 1)
> Die Basismenge $B_1$ sei die Menge, die aus den folgenden 6 Schülern besteht: anton, berta, christa, dora, emil, friedrich. Für die Elemente werde zur Abkürzung nur der Anfangsbuchstabe des Vornamens geschrieben, so daß $B_1 = \{a, b, c, d, e, f\}$. Auf diese Basismenge beziehen sich alle weiteren Beispiele. Für dieses Beispiel gilt $|B_1| = 6$, $B_1$ ist eine Basismenge von der Frequenz 6.

Jede nichtleere Teilmenge A einer Basismenge B heißt Arbeitsgruppe in B. Die Anzahl n der möglichen Arbeitsgruppen in B ist $n = 2^{|B|} - 1$.
Die Anzahl der Elemente einer Arbeitsgruppe A heißt der Grad von A, geschrieben $|A|$. Für den Grad von Arbeitsgruppen gilt
$|A_1 \cup A_2| \leq |A_1| + |A_2|$ und $|A_1 \cup A_2| = |A_1| + |A_2| - |A_1 \cap A_2|$.

> Beispiel 2)
> In $B_1$ gibt es insgesamt $2^{|B_1|} - 1 = 2^6 - 1 = 63$ verschiedene Arbeitsgruppen. Arbeitsgruppen sind etwa $A_1 = \{a, b, c\}$, $A_2 = \{a, d, e, f\}$, die erste vom Grade 3, die zweite vom Grade 4. Die Vereinigung $A_1 \cup A_2$ ist eine Arbeitsgruppe von Grade 6, denn es ist $A_1 \cap A_2 = \{a\}$ eine Arbeitsgruppe vom Grade 1 und somit $|A_1 \cup A_2| = |A_1| + |A_2| - |A_1 \cap A_2| = 3 + 4 - 1 = 6$. $A_1 \cup A_2$ besteht aus den 6 Elementen a, b, c, d, e, f.

Gruppensystem

Eine nichtleere endliche Menge von Arbeitsgruppen $A_1 \ldots A_n$ aus B heißt ein Gruppensystem $\mathfrak{G}$ in B, $\mathfrak{G} = \{A_1, A_2, \ldots, A_n\}$. Die Anzahl der Elemente von $\mathfrak{G}$ (d.i. die Anzahl der Arbeitsgruppen, die zu $\mathfrak{G}$ gehören) heißt die Ordnung von $\mathfrak{G}$, geschrieben $|\mathfrak{G}|$. Der höchste Grad der Arbeitsgruppen von $\mathfrak{G}$ heißt der Grad von $\mathfrak{G}$, symbolisiert Grad ($\mathfrak{G}$). Ein Element a aus der Basis B heißt n-faches Element bezüglich $\mathfrak{G}$, wenn a Element von genau n Arbeitsgruppen aus $\mathfrak{G}$ ist.

Beispiel 3)
$\mathfrak{T}_1 = \{\{a,b\},\{a,c\},\{b,c,d\},\{b,e,f\}\}$ ist ein Gruppensystem in $B_1$ von der Ordnung 4 und vom Grade 3. a ist 2-faches, b ist 3-faches, c ist 2-faches, d ist 1-faches, e ist 1-faches, f ist 1-faches Element von $B_1$ bezüglich $\mathfrak{T}_1$.

Ein Gruppensystem heißt vollständig in B, wenn jedes Element aus B in wenigstens einer Arbeitsgruppe von $\mathfrak{T}$ vorkommt. $\mathfrak{T}$ heißt separabel in B, wenn jedes Element von B in höchstens einer Arbeitsgruppe von $\mathfrak{T}$ vorkommt. $\mathfrak{T}$ heißt vollständig und separabel in B, wenn jedes Element von B in einer und nur einer Arbeitsgruppe von $\mathfrak{T}$ enthalten ist. Ein Gruppensystem heißt homogen, wenn alle Arbeitsgruppen denselben Grad haben. Gruppensysteme heißen von gleicher Art oder gleichartig, wenn sie bezüglich Vollständigkeit, Separabilität und Homogenität übereinstimmen.

Beispiel 4)
Bezüglich $B_1$ ist $\mathfrak{T}_1$ (s. Beispiel 3) vollständig, denn jedes Element von $B_1$ kommt in wenigstens einer der Gruppen von $\mathfrak{T}_1$ vor, $\mathfrak{T}_1$ ist nicht separabel, denn schon das Element a kommt sowohl in $\{a,b\}$ wie in $\{a,c\}$ vor. $\mathfrak{T}_1$ ist nicht homogen, denn $\mathfrak{T}_1$ enthält Arbeitsgruppen vom Grade 3 ($\{b,c,d\}$, $\{b,e,f\}$) wie vom Grade 2 ($\{a,b\}$, $\{a,c\}$).

Beispiel 5)
$\mathfrak{T}_2 = \{\{a,b,c,f\}, \{c,d\}, \{e,f\}\}$ ist vollständig in $B_1$, vom Grade 4 und von der Ordnung 4. $\mathfrak{T}_3 = \{\{a,b,c,d,e\}, \{f\}\}$ ist vollständig in $B_1$ mit Grad ( $\mathfrak{T}_3$ ) = 5, $|\mathfrak{T}_3| = 2$ . $\mathfrak{T}_3$ ist separabel.

Beispiel 6)
Separabel sind die Gruppensysteme $\mathfrak{T}_4 = \{\{a,b,c\},\{d,e,f\}\}$ vom Grade 3 und von der Ordnung 2 und $\mathfrak{T}_5 = \{\{a,c\},\{b,f\}\}$ vom Grade 2 und von der Ordnung 2. $\mathfrak{T}_4$ ist bezüglich $B_1$ vollständig, $\mathfrak{T}_5$ ist bezüglich $B_1$ nicht vollständig.

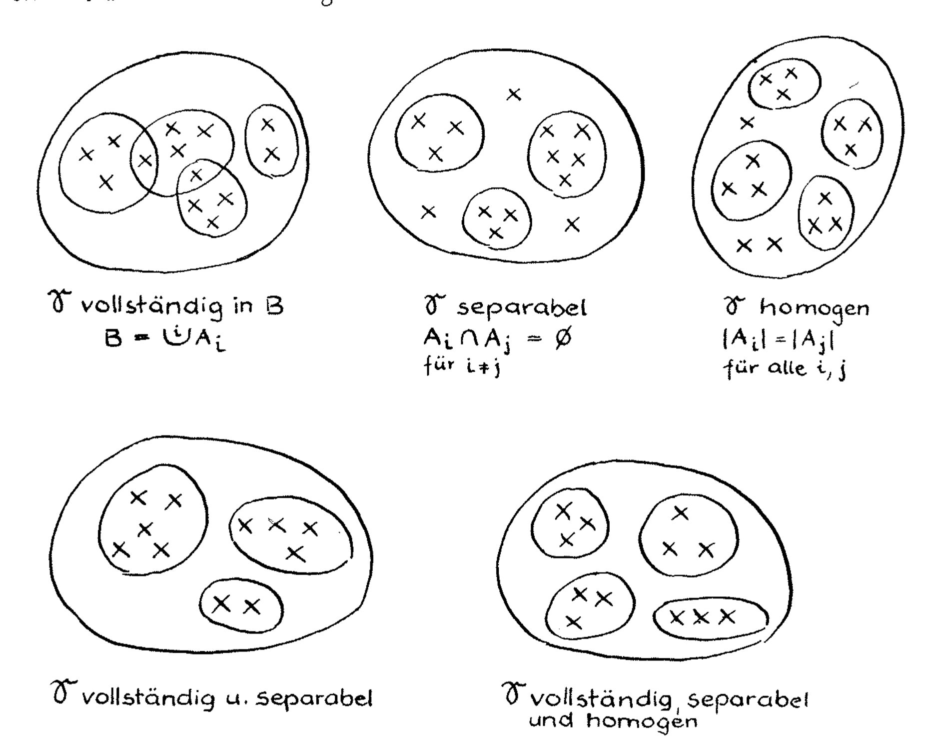
Beispiel 7)
Ein Beispiel für ein homogenes Gruppensystem ist $\mathfrak{T}_6 = \{\{a,b,c\}, \{c,d,e\},\{d,e,f\}\}$ mit Grad ( $\mathfrak{T}_6$ ) = 3, $|\mathfrak{T}_6| = 3$ . Dieses System ist nicht separabel aber vollständig.

Beispiel 8)
Vollständige, homogene und separable Gruppensysteme sind

$\mathfrak{T}_7 = \{\{a,b\},\{c,d\},\{e,f\}\}$ mit Grad $(\mathfrak{T}_7) = 2$, $|\mathfrak{T}_7| = 3$,
$\mathfrak{T}_8 = \{\{a,e,f\},\{c,d,b\}\}$ mit Grad $(\mathfrak{T}_8) = 3$, $|\mathfrak{T}_8| = 2$,
$\mathfrak{T}_9 = \{\{a\},\{b\},\{c\},\{d\},\{e\},\{f\}\}$ mit Grad $(\mathfrak{T}_9) = 1$, $|\mathfrak{T}_9| = 6$.

Diese drei Systeme sind von gleicher Art.

Gruppensysteme lassen sich übersichtlich mit Hilfe von Mengendiagrammen darstellen. In dieser Darstellung ist




Für Gruppensysteme gelten eine Reihe einfacher Sätze, wie man sich leicht überlegt.

1. Ist $\mathfrak{T}$ vom Grade 1, so ist $\mathfrak{T}$ homogen und separabel.
2. $\mathfrak{T}$ ist dann und nur dann vollständig und vom Grade 1, wenn $\mathfrak{T}$ separabel und die Ordnung von $\mathfrak{T}$ gleich der Frequenz von B ist.
3. Notwendig, daß ein Gruppensystem $\mathfrak{T}$ vollständig, separabel und homogen ist, ist, daß der Grad von $\mathfrak{T}$ ein Teiler der Frequenz von B ist.
4. Ist die Basismenge B von Primzahlfrequenz, so gibt es in ihr nur zwei homogene, separable und vollständige Gruppensysteme, das eine besteht aus einer

einzigen Arbeitsgruppe, in der alle Elemente von B zusammengefaßt sind, das andere besteht aus soviel Gruppen wie B Elemente hat, und jede dieser Gruppen besteht aus genau einem dieser Elemente.
5. Gilt in einem homogenen Gruppensystem $\mathfrak{T}$, daß Grad ( $\mathfrak{T}$ ) $\cdot |\mathfrak{T}| > |B|$ ist, so ist $\mathfrak{T}$ nicht separabel.

Beispiele
Zu 3. Man betrachte die vollständigen, homogenen und separablen Gruppensysteme $\mathfrak{T}_7$, $\mathfrak{T}_8$, $\mathfrak{T}_9$ (s. Beispiel 8). Deren Grade 2, 3 und 1 sind alle Teiler der Frequenz von B, $|B_1| = 6$. Betrachtet man dagegen $\mathfrak{T}_2$ (s. Beispiel 5), dessen Grad 4 ist, so sieht man, daß dieser kein Teiler der Frequenz von B, $|B_1| = 6$ ist. $\mathfrak{T}_2$ ist nicht homogen und nicht separabel.
Zu 5. Man betrachte $\mathfrak{T}_6$ (s. Beispiel 7). Es ist Grad $(\mathfrak{T}_6) = 3$ und $|\mathfrak{T}_6| = 3$, also Grad $(\mathfrak{T}_6) \cdot |\mathfrak{T}_6| > |B_1| = 6$. $\mathfrak{T}_6$ ist nicht separabel.

Arbeitsprogramm

Ein Arbeitsprogramm auf einem Gruppensystem ist ein Verfahren, das jedem $A \in \mathfrak{T}$, d.h. jeder Arbeitsgruppe aus $\mathfrak{T}$, genau eine Arbeitsanweisung $\pi(A)$ zuordnet. Interpretiert man B als Schulklasse, $\mathfrak{T}$ als System von Schülergruppen, so besteht ein Arbeitsprogramm darin, daß man jeder Gruppe eine Arbeitsaufgabe zuordnet, die von den Gruppenmitgliedern gemeinsam zu lösen ist. Besitzt $\mathfrak{T}$ insgesamt n Elemente, d.h. n Arbeitsgruppen, so ist $\pi$ ein n-Tupel von Arbeitsvorschriften $\pi = (\pi(A_1), \pi(A_2), \dots, \pi(A_n))$. Die Maximalzahl der voneinander verschiedenen Arbeitsvorschriften heißt die Wertigkeit von $\pi$ in $\mathfrak{T}$, sie wird mit $|\pi|$ bezeichnet.

Beispiel 9)
Auf $\mathfrak{T}_8$ (s. Beispiel 8) wird ein Arbeitsprogramm $\pi_1$ definiert durch die Vorschrift: die Mädchen singen, die Jungen turnen. Da $\{a, e, f\}$ nur aus Jungen besteht, $\{b, c, d\}$ nur aus Mädchen, ist dieses Arbeitsprogramm

$$\pi_1 = \left\{ \begin{array}{l} \pi_1(\{a,e,f\}) = \text{alle Elemente dieser Gruppen turnen} \\ \pi_1(\{b,c,d\}) = \text{alle Elemente dieser Gruppe singen} \end{array} \right\}$$

$\pi_1$ = ist 2-wertig.

Beispiel 10)
Ein weiteres Beispiel eines 2-wertigen Arbeitsprogramms ist das Programm auf $\mathfrak{T}_6$ (s. Beispiel 7), das festlegt, daß alle Gruppen, die das Element d enthalten, die Aufgaben 1 - 10 rechnen (d könnte ggf. als Mentor interpretiert werden) und daß alle anderen Gruppen die Aufgaben 2 - 6 rechnen. Dieses Arbeitsprogramm ist

$$\pi_2 = \begin{cases} \pi_2(\{a,b,c\}) & = \text{alle Schüler dieser Gruppe rechnen Aufg. 2-6} \\ \pi_2(\{c,d,e\}) & = \text{alle Schüler dieser Gruppe rechnen Aufg. 1-10} \\ \pi_2(\{d,e,f\}) & = \text{alle Schüler dieser Gruppe rechnen Aufg. 1-10} \end{cases}$$

Beispiel 11)
Ein Beispiel für ein 3-wertiges Arbeitsprogramm ist $\pi_3$ auf $\sigma_7$ bei folgender Festsetzung:

$$\pi_3 = \begin{cases} \{a,b\} & \text{lesen in Stillarbeit ...,} \\ \{c,d\} & \text{schreiben in Stillarbeit} \\ \{e,f\} & \text{führen mit dem Lehrer Gespräch über den Maulwurf} \end{cases}$$

## Die Arbeitsprogramme als teilweise geordneter Verband

Die Gesamtheit der Arbeitsprogramme auf $\sigma$ kann zu einem Verband mit einer Halbordnung zusammengefaßt werden, wenn man zwischen den Arbeitsprogrammen $\pi$ eines festliegenden Gruppensystems eine Äquivalenzrelation "$\equiv$" und zwei Verknüpfungen "+" und "." wie folgt definiert. Es sei $\pi_1 \equiv \pi_2$ , $\pi_1$ äquivalent $\pi_2$ , wenn gilt: Erfüllt jede Arbeitsgruppe aus $\sigma$ das Programm $\pi_1$ , so erfüllt sie automatisch das Programm $\pi_2$ und umgekehrt, erfüllt jede Arbeitsgruppe das Programm $\pi_2$, so erfüllt sie automatisch das Programm $\pi_1$ auch. Unter $\pi_1 + \pi_2$ soll dasjenige Programm von $\sigma$ verstanden werden, das von jeder Arbeitsgruppe A verlangt, sie soll sowohl $\pi_1$ (A) wie $\pi_2$ (A) erfüllen. $\pi_1 \cdot \pi_2$ bedeutet dasjenige Programm von $\sigma$, das von jeder Arbeitsgruppe A verlangt, daß sie entweder das Programm $\pi_1$(A) oder das Programm $\pi_2$(A) oder beide Programme gleichzeitig erfüllt. Für diese Definition gilt, daß die beiden Verknüpfungen kommutativ und assoziativ sind, daß also stets

$$\pi_1 \dotplus \pi_2 \equiv \pi_2 \dotplus \pi_1 \quad \text{und} \quad \pi_1 \dotplus (\pi_2 \dotplus \pi_3) \equiv (\pi_1 \dotplus \pi_2) \dotplus \pi_3$$

gilt und daß überdies stets

$$\pi_1 \cdot (\pi_1 + \pi_2) \equiv \pi_1 \quad \text{und} \quad \pi_1 + (\pi_1 \cdot \pi_2) \equiv \pi_1$$

ist.

Daß $\pi_1 \cdot (\pi_1 + \pi_2) \equiv \pi_1$ , zeigt man so: erfüllt A die linke Seite der Gleichung, so erfüllt A entweder $\pi_1$ oder A erfüllt sowohl $\pi_1$ wie $\pi_2$ , in jedem Fall also $\pi_1$ . Erfüllt umgekehrt A das Arbeitsprogramm $\pi_1$ , so erfüllt es $\pi_1 \cdot (\pi_1 + \pi_2)$ denn dieses Programm ist erfüllt, wenn entweder $\pi_1$ oder ( $\pi_1 + \pi_2$ ) erfüllt ist, und $\pi_1$ wurde erfüllt. Um zu zeigen, daß $\pi_1 + (\pi_1 \cdot \pi_2) \equiv \pi_1$ ist, argumentiert man: erfüllt A $\pi_1 + (\pi_1 \cdot \pi_2)$ , so erfüllt A sowohl $\pi_1$ als auch ($\pi_1$ oder $\pi_2$) stets also $\pi_1$ . Erfüllt umgekehrt A $\pi_1$ , so erfüllt A $\pi_1 + (\pi_1 \cdot \pi_2)$, denn der

erste Teil, $\pi_1$ , wird erfüllt und der zweite Teil, $\pi_1$ oder $\pi_2$ , wird erfüllt, wenn $\pi_1$ erfüllt wird. Also gilt $\pi_1 + (\pi_1 \cdot \pi_2) \equiv \pi_1$ .

Damit erfüllt die Gesamtheit aller Arbeitsprogramme eines Gruppensystems bezüglich der definierten Äquivalenzrelation und der beiden Verknüpfungen die Verbandsaxiome. Dieser Verband ist nicht distributiv. Auf dem Verband der Arbeitsprogramme kann man eine Halbordnung $\pi_1 \preceq \pi_2$ definieren: $\pi_1$ ist schwächer als $\pi_2$ , geschrieben $\pi_1 \preceq \pi_2$ , wenn $\pi_1 + \pi_2 \equiv \pi_2$ gilt. (Äquivalent dazu ist die Festsetzung, daß $\pi_1 \cdot \pi_2 = \pi_1$ gilt.)

$\pi_1$ heißt echt schwächer als $\pi_2$ , wenn $\pi_1 \preceq \pi_2$ und $\pi_1 \not\equiv \pi_2$ .

Beispiele

Auf $\gamma_8 = \{\{a, e, f\}, \{b, c, d\}\}$ (vgl. Beispiel 8) werden die beiden Arbeitsprogramme $\pi_1$ und $\pi_2$ definiert durch

$\pi_1 = \left\{ \begin{array}{l} \text{alle Jungen turnen} \\ \text{alle Mädchen singen} \end{array} \right\}$

$\pi_2 = \left\{ \begin{array}{l} \pi_2(\{a,e,f\}) = \text{alle Schüler dieser Gruppe rechnen Aufg. 1-10} \\ \pi_2(\{b,c,d\}) = \text{alle Schüler dieser Gruppe lesen S. 15 - 20} \end{array} \right\}$

Die Programme $\pi_1 + \pi_2$ bzw. $\pi_1 \cdot \pi_2$ sind dann

$\pi_1 + \pi_2 = \left\{ \begin{array}{l} \text{alle Jungen turnen und rechnen Aufg. 1-10} \\ \text{alle Mädchen singen und lesen S. 15 - 20} \end{array} \right\}$

$\pi_1 \cdot \pi_2 = \left\{ \begin{array}{l} \text{alle Jungen turnen und oder rechnen Aufg. 1-10} \\ \text{oder beides} \\ \text{alle Mädchen singen oder lesen S. 15-20} \\ \text{oder beides} \end{array} \right\}$

Auf $\gamma_8$ (vgl. Beispiel 8) werden die beiden Arbeitsprogramme $\pi_3$ und $\pi_4$ definiert durch

$\pi_3 = \left\{ \begin{array}{l} \text{die Jungen rechnen Aufg. 1 - 10} \\ \text{die Mädchen lesen S. 15 - 20} \end{array} \right\}$

$\pi_4 = \left\{ \begin{array}{l} \text{die Jungen rechnen Aufg. 8 - 12} \\ \text{die Mädchen lesen S. 20 - 24} \end{array} \right\}$

Daraus ergeben sich die Programme

$\pi_5 = \pi_3 + \pi_4 = \left\{ \begin{array}{l} \text{die Jungen rechnen Aufgabe 1 - 12} \\ \text{die Mädchen lesen S. 15 - 24} \end{array} \right\}$

$\pi_6 = \pi_3 \cdot \pi_4 = \left\{ \begin{array}{l} \text{die Jungen rechnen Aufgabe 1 - 10 oder Aufg. 1-12} \\ \text{die Mädchen lesen S. 15-20 oder S. 20-24 oder beides} \end{array} \right\}$

Die Beispiele zeigen, daß $\Pi_6 \preceq \Pi_3$, $\Pi_6 \preceq \Pi_4$, $\Pi_3 \preceq \Pi_5$, $\Pi_4 \preceq \Pi_5$, daß aber weder $\Pi_3 \preceq \Pi_4$ noch $\Pi_4 \preceq \Pi_3$ noch $\Pi_3 \equiv \Pi_4$ gilt; (die Arbeitsprogramme bilden nur eine Halbordnung.)

Unterrichtsschema

Ein Unterrichtsschema U ist ein geordnetes Tripel ( $B, \mathcal{T}, \Pi$ ), das aus einer Basismenge B, einem Gruppensystem $\mathcal{T}$ in B und einem Arbeitsprogramm $\Pi$ auf $\mathcal{T}$ besteht. Ein Unterrichtsschema U heißt vollständig, bzw. separabel bzw. homogen, wenn $\mathcal{T}$ vollständig bzw. separabel bzw. homogen ist.

Beispiel 12)
$U_1 = ( B_1, \mathcal{T}_8, \Pi_1 )$ (s. Beispiel 1, 8, 9) ist ein vollständiges, separables und homogenes Unterrichtsschema. Für $U_2 = ( B_1, \mathcal{T}_7, \Pi_3 )$ (s. Beispiel 1, 8, 11) gilt dasselbe. Homogen und vollständig aber nicht separabel ist das Unterrichtsschema $U_3 = ( B_1, \mathcal{T}_6, \Pi_2 )$ (s. Beispiel 1, 10).

Zwei Unterrichtsschemata heißen von gleicher Art oder gleichartig, wenn sie hinsichtlich Vollständigkeit, Separabilität und Homogenität übereinstimmen. Eine Charakterisierung eines Unterrichtsschemas U, symbolisiert durch Char (U), ist ein geordnetes Tripel aus den drei Zahlen $|B|$ (Frequenz B), $|\mathcal{T}|$ (Ordnung von $\mathcal{T}$ ) und $|\Pi|$ (Wertigkeit von $\Pi$ ), Char (U) = $( |B|, |\mathcal{T}|, |\Pi| ) = (p, q, r)$.

Beispiel 13)
Die Unterrichtsschemata $U_1$, $U_2$, $U_3$ (s. Beispiel 12) besitzen die Charakterisierungen
Char $(U_1) = (6, 2, 2)$, Char $(U_2) = (6, 3, 3)$, Char $(U_3) = (6, 3, 2)$.

Für jede Charakterisierung Char (U) = (p, q, r) eines separabelen Unterrichtsschemas gilt stets

$$r \leq q \leq p.$$

Beweis:
$r = |\Pi|$ ist die Anzahl der voneinander verschiedenen Arbeitsanweisungen von $\mathcal{T}$. Diese Zahl ist kleiner oder gleich der Anzahl der Arbeitsanweisungen auf $\mathcal{T}$ überhaupt. Letztere ist genau so groß wie die Anzahl der Arbeitsgruppen in $\mathcal{T}$, d.h. $|\mathcal{T}|$. Also ist $r \leq q$. $p = |B|$ die Anzahl der Elemente von B. Wenn U separabel, also $\mathcal{T}$ separabel ist, kann $\mathcal{T}$ höchstens ebenso viele Teilmengen enthalten wie B Elemente hat, also gilt $q = |\mathcal{T}| \leq |B| = p$. Aus $r \leq q$ und $q \leq p$ folgt die Behauptung.

Ist U nicht separabel, so gilt die vorstehende Ungleichung im allgemeinen nicht. Stets ist jedoch $r \leq q \leq 2^p - 1$.

Beweis: Die Beziehung $r \leq q$ gilt, wie man dem vorstehenden Beweis entnimmt, allgemein. Man kann aber in B genau $2^{|B|} - 1 = 2^p - 1$ verschiedene Arbeitsgruppen bilden. $\mathfrak{T}$ kann höchstens alle diese Arbeitsgruppen enthalten, also gilt $|\mathfrak{T}| = q \leq 2^p - 1$, womit die Behauptung bewiesen ist.

Mit Hilfe der Charakterisierungen kann man Unterrichtstypen bequem und in mancher Beziehung aufschlußreich beschreiben. Der Frontalunterricht ist ein Unterrichtsschema mit der Charakterisierung (p, p, 1), jeder Schüler bildet seine eigene Gruppe, jede Gruppe hat dasselbe Arbeitsprogramm. Der Individualunterricht ist ein Unterrichtsschema mit der Charakterisierung (p, p, p), jeder Schüler arbeitet für sich mit eigenem Arbeitsprogramm, wobei vorausgesetzt werden darf, daß bei gutem Individualunterricht zwei verschiedene Schüler stets verschiedene Programme haben müssen. Wie weit sich ein mit Einzelschülern arbeitender Unterricht, der die Charakterisierung (p, p, a) besitzt, vom Ideal des strengen Individualunterrichts unterscheidet, kann man an der Differenz p - a ablesen.

Merkmalsystem, Merkmalfunktion

Ein Merkmalsystem $X(B)$ einer Basismenge B ist eine Vorschrift, die jedem Element von B eine Menge von Eigenschaften zuordnet. Die Darstellung einer derartigen Zuordnung geschieht am einfachsten mit Hilfe einer Markmaltabelle wie das folgende Beispiel (14) zeigt:

$X_1(B_1) =$

| | |
|---|---|
| a | ♂, 8 Jahre, Rechnen 3, ausdauernd, intelligent, schlechte Schrift |
| b | ♀, 9 Jahre, unkonzentriert, intelligent, Rechnen 3 |
| c | ♀, Rechnen 4, gute Schrift, durchschn. intelligent, 8 Jahre, leicht abgelenkt |
| d | ♀, 7 Jahre, beständig, Rechnen 4, gute Schrift, durchschnittlich intelligent |
| e | 8 Jahre, ♂, Rechnen 2, geringe Ausdauer, hochintelligent |
| f | 9 Jahre, ♂, schwerfällig, geringe Intelligenz, Rechnen 5, schlechte Schrift |

Ein Merkmalsystem kann dazu dienen, geeignete Gruppensysteme für ein Unterrichtsschema aufzustellen. Die Arbeitsgruppen eines Systems können Leistungsgruppen, Interessengruppen, Begabungsgruppen, Freundschaftsgruppen o. ä. sein. Das Merkmalsystem gestattet, hinsichtlich eines bestimmten Unterrichtszieles und hinsichtlich eines bestimmten Arbeitsprogramms passende Arbeits-

gruppen zusammenzustellen. Noch übersichtlicher läßt sich das Aufstellen von Arbeitsgruppen mit Hilfe der Merkmalfunktion beschreiben. Eine Merkmalfunktion von B, geschrieben $\chi(B)$, ist eine Funktion auf B, die jedem Element von B genau ein Merkmal (eine Eigenschaft) zuordnet. Eine Merkmalfunktion von B heißt unvollständige Merkmalfunktion, wenn sie einigen, aber nicht allen Elementen von B je genau ein Merkmal zuordnet. Die Menge derjenigen Elemente, denen $\chi(B)$ ein Merkmal zuordnet, heißt der Definitionsbereich der Funktion $\chi(B)$ in B.

Beispiel 15)
Merkmalfunktionen von $B_1$ (vgl. Beispiel 1) sind $\chi_1$ das Geschlecht, $\chi_2$ das Jahresalter, $\chi_3$ die Mathematikzensur, $\chi_4$ der Arbeitsrhythmus nach der Merkmaltabelle in Beispiel 14, $\chi_5$ die Intelligenz nach der Merkmaltabelle in Beispiel 14.
Unvollständige Merkmalfunktionen sind z. B. $\chi_6$ die Schriftqualität nach der Merkmaltabelle in Beispiel 14, $\chi_7$ der weibliche Vorname.

Eine Merkmalfunktion liefert ein Verfahren, in einer Basismenge ein Arbeitsgruppensystem aufzustellen, in dem man Elemente mit demselben Merkmal in einer Gruppe zusammenfaßt. Ist $\chi$ eine Merkmalfunktion von B, so heißt $\mathfrak{T}(\chi)$ das von $\chi$ erzeugte Gruppensystem in B, wenn jede Arbeitsgruppe des Systems genau alle Elemente enthält, auf die dieselbe Eigenschaft von $\chi$ zutrifft. Die Merkmalfunktion $\chi$ heißt homogen bezüglich der Basismenge B, wenn $\mathfrak{T}(\chi)$ homogen ist. $\chi$ ist vom Grade n, wenn $\mathfrak{T}(\chi)$ vom Grade n ist. $\chi$ hat die Ordnung n, wenn $\mathfrak{T}(\chi)$ die Ordnung n hat.

Beispiel 16)
Die Merkmalfunktionen aus Beispiel 15 erzeugen in $B_1$ die folgenden Gruppensysteme:

$\mathfrak{T}(\chi_1) = \{\{a,e,f\},\{b,c,d\}\}$ ist homogen, vom Grade 3 und von der Ordnung 2,
$\mathfrak{T}(\chi_2) = \{\{d\},\{a,c,e\},\{b,f\}\}$ ist vom Grade 3 und von der Ordnung 3,
$\mathfrak{T}(\chi_3) = \{\{e\},\{a,b\},\{c,d\},\{f\}\}$ ist vom Grade 2 und von der Ordnung 4,
$\mathfrak{T}(\chi_4) = \{\{a,d\},\{b\},\{c\},\{e\},\{f\}\}$ ist vom Grade 2 und von der Ordnung 5,
$\mathfrak{T}(\chi_5) = \{\{a,b\},\{c,d\},\{e\},\{f\}\}$ ist vom Grade 2 und von der Ordnung 4.

Bildet man, wie vorstehend, aus den unvollständigen Merkmalfunktionen Gruppensysteme, so erhält man

$\mathfrak{T}(\chi_6) = \{\{a,e,f\},\{c,d\}\}$ Dieses System ist separabel aber nicht vollständig. Es hat den Grad 3 und die Ordnung 2.
$\mathfrak{T}(\chi_7) = \{\{b\},\{c\},\{d\}\}$ Dieses System ist homogen, vom Grade 1 und separabel, es ist nicht vollständig und hat die Ordnung 3.

Für Gruppensysteme, die von Merkmalfunktionen erzeugt werden, gilt: Jedes von einer Merkmalfunktion erzeugte Gruppensystem ist vollständig und separabel.

Beweis: Eine Merkmalfunktion $\chi$ ordnet jedem $a \in B$ genau eine Eigenschaft zu. Somit hat jedes Element eine Eigenschaft und tritt in einer der Arbeitsgruppen von $\mathfrak{T}$ auf, das System ist also vollständig. Jedes Element besitzt aber durch $\chi$ auch nur eine Eigenschaft und da alle Elemente mit derselben Eigenschaft in einer Arbeitsgruppe liegen, kann ein Element nicht gleichzeitig zwei Arbeitsgruppen von $\mathfrak{T}$ angehören, $\mathfrak{T}$ ist somit separabel.

Formelement, Form

Die Charakterisierung (p, q, r) eines Unterrichtsschemas liefert eine Reihe kennzeichnender Informationen über den formalen Aufbau des Gruppenunterrichts. In Verbindung mit der Angabe über die Vollständigkeit, die Separabilität und die Homogenität lassen sich Rückschlüsse auf die feinere Struktur des Unterrichtsschemas ziehen. Man benötigt jedoch noch einen Begriff, der einen vollständigeren Überblick über den formalen Aufbau des Unterrichts vermittelt. Dieses leistet der Begriff der Form F eines Unterrichtsschemas, der mit Hilfe des Begriffes des Formelementes leicht zu definieren ist. Unter einem Formelement E bezüglich einer Arbeitsanweisung $\pi$ eines Unterrichtsschemas $U = (B, \mathfrak{T}, \pi)$ versteht man folgendes: man fasse alle Arbeitsgruppen von $\mathfrak{T}$, denen dieselbe Arbeitsanweisung zugeordnet ist, zusammen und schreibe deren Grade in eine eckige Klammer, wobei man auf die Reihenfolge der Gradzahlen keine Rücksicht zu nehmen braucht. Jede Gradzahl tritt dann so oft auf, wie es Arbeitsgruppen mit dieser Gradzahl in $\mathfrak{T}$ gibt. Das Formelement $E_i = E_i(\pi) = [3, 1, 3, 2]$ besagt also, daß in U zwei Dreiergruppen, eine Zweiergruppe, eine Einergruppe ein und dieselbe Aufgabe bearbeiten. In U gibt es so viele Formelemente wie die Wertigkeit von $\pi$ angibt. Unter der Form F eines Unterrichtsschemas versteht man die Gesamtheit aller Formelemente von U zusammen mit der Frequenz der Basismenge B des Schemas U. Man symbolisiert die Form F eines Unterrichtsschemas durch

$$F = (|B| ; E_1, E_2, \ldots, E_{|\pi|})$$

(vor dem Semikolon steht die Frequenz der Basismenge, danach werden die Formelemente angegeben. Die Reihenfolge der $E_i$ spielt keine Rolle). Eine Form heißt vollständig bzw. separabel bzw. homogen, wenn U vollständig bzw. separabel bzw. homogen ist. Man schreibt für solche Formen auch $F_{vollst.}$, $F_{sep.}$, $F_{homog.}$ usw.

Beispiel 17)

1. $U_1 = (B_1, \mathcal{T}_8, \Pi_1)$ (vgl. Beispiel 12) hat die Form
   $F = F(U_1) = (6; [3], [3])_{\text{vollst., sep., homog.}}$
2. $U_2 = (B_1, \mathcal{T}_7, \Pi_5)$ (vgl. Beispiel 12) hat die Form
   $F = F(U_2) = (6; [2], [2], [2])_{\text{vollst., sep., homog.}}$
3. $U_3 = (B_1, \mathcal{T}_6, \Pi_2)$ (vgl. Beispiel 12) hat die Form
   $F = F(U_3) = (6; [3], [3,3])_{\text{vollst., homog.}}$
4. Aus der Form $F = (24; [5,4], [4,4,4], [3])_{\text{vollst., sep.}}$

liest man ab, daß es sich bei dem Unterrichtsschema um eine Klasse mit 24 Schülern handelt, daß jeder Schüler in einer und nur einer Gruppe mitarbeitet, daß die Klasse in eine Fünfergruppe, vier Vierergruppen und eine Dreiergruppe aufgeteilt wurde und daß eine Fünfer- und eine Vierergruppe dieselbe Aufgabe bearbeitet, daß drei Vierergruppen ebenfalls je ein- und dieselbe Arbeit ausführen und daß eine Dreiergruppe eine eigene Aufgabe gestellt bekommt.

Alle Schemata des Frontalunterrichts sind bei gleicher Frequenz von gleicher Form, $F = (|B|; [1, \ldots, 1])$, jeder Individualunterricht hat die Form $F = (|B|; [1], \ldots, [1])$.

Isomorphie

Zwei Unterrichtsschemata $U = (B, \mathcal{T}, \Pi)$ und $U' = (B', \mathcal{T}', \Pi')$ heißen isomorph, wenn es eine umkehrbar eindeutige Abbildung $\varphi$ gibt mit folgenden Eigenschaften: durch $\varphi$ wird B elementweise umkehrbar eindeutig auf $B'$ abgebildet. $B' = \varphi(B)$; die Arbeitsgruppen von $\mathcal{T}$ werden durch $\varphi$ auf die Arbeitsgruppen von $\mathcal{T}'$ abgebildet, $A_i' = \varphi(A_i)$ und für die Arbeitsprogramme $\Pi$ und $\Pi'$ gilt, daß $\Pi'(\varphi(A_i)) = \Pi'(\varphi(A_j))$ genau dann eintritt, wenn $\Pi(A_i) = \Pi(A_j)$, d.h. daß, wenn zwei Arbeitsgruppen in einem Schema gleiche Arbeitsanweisungen haben, auch deren Bilder im anderen Schema gleiche Arbeitsanweisungen besitzen und umgekehrt. Für die Isomorphiebeziehung schreibt man $U \cong U'$. Diese Isomorphie ist reflexiv, transitiv und symmetrisch, sie ist eine Äquivalenzrelation:

$$U \cong U' \Leftrightarrow \text{es gibt Abbildung } \varphi: \quad B \xleftrightarrow{\varphi} B' \quad (a' = \varphi(a)),$$
$$\mathcal{T} \xleftrightarrow{\varphi} \mathcal{T}' \quad (A' = \varphi(A)),$$
$$\Pi(A_i) = \Pi(A_j) \Leftrightarrow \Pi'(\varphi(A_i)) = \Pi'(\varphi A_j)).$$

Beispiel 18)

Es sei

$U = (B, \mathcal{T}, \Pi)$ mit $B = \{a, b, c, d, e, f\}$, $\mathcal{T} = \{\{a,c\}, \{b,d\}, \{e,f\}\}$,
$\Pi = \{\{a,c\}$ rechnet ..., $\{b,d\}, \{e,f\}$ lesen ... $\}$,
$U' = (B', \mathcal{T}', \Pi')$ mit $B' = \{1,2,3,4,5,6\}$, $\mathcal{T}' = \{\{1,5\}, \{2,3\}, \{4,6\}\}$,
$\Pi' = \{\{2,3\}$ zeichnet ..., $\{1,5\}, \{4,6\}$ turnen ... $\}$.

> Beide Schemata sind isomorph, denn die Abbildung $\varphi$ mit $\varphi(a) = 3$, $\varphi(b) = 1$, $\varphi(c) = 2$, $\varphi(d) = 5$, $\varphi(e) = 6$, $\varphi(f) = 4$ ist eine umkehrbar eindeutige Abbildung von B auf B´. Außerdem ist $\varphi(\{a,c\}) = \{2,3\}$, $\varphi(\{b,d\}) = \{1,5\}$, $\varphi(\{e,f\}) = \{4,6\}$ und es haben in U nur die Arbeitsgruppen $\{b,d\}$ und $\{e,f\}$ gleiche Arbeitsanweisungen, in U´ haben nur die Arbeitsgruppen $\{1,5\}$ und $\{4,6\}$ gleiche Arbeitsanweisungen. Diese Gruppen sind aber durch $\varphi$ aufeinander bezogen.

Isomorphe Unterrichtsschemata haben gleiche Formen, d.h. ist $U \cong U'$, so ist $F(U) = F(U')$.

Beweis: Es sei $U = (B, \mathfrak{T}, \pi)$, $U' = (B', \mathfrak{T}', \pi')$ und $\varphi$ die isomorphievermittelnde Abbildung. Da durch $\varphi$ B umkehrbar eindeutig auf B´ abgebildet wird, ist $|B| = |B'|$. Weiter ist, vermöge der umkehrbar eindeutigen Abbildung von $\mathfrak{T}$ auf $\mathfrak{T}'$ auch $|\mathfrak{T}| = |\mathfrak{T}'|$. $\mathfrak{T}'$ hat genau so viele Arbeitsgruppen wie $\mathfrak{T}$. Man bebetrachte die Formelemente von $\mathfrak{T}$. Durch die Formelemente werden alle Arbeitsgruppen mit gleicher Arbeitsanweisung zusammengefaßt. Enthält $E(\pi)$ von U etwa die Arbeitsgruppen $A_1, \ldots, A_n$, so muß es in U´ ein Formelement E´ geben, das die Arbeitsgruppen $\varphi(A_1), \ldots, \varphi(A_n)$ enthält, denn nach der Isomorphieforderung sollen nur dann Arbeitsgruppen von $\mathfrak{T}$ in *einem* Formelement liegen (d.h. $\pi(A_i) = \pi(A_j)$), wenn dieses für deren Bilder in $\mathfrak{T}'$ gilt (d.h. wenn $\pi'(\varphi(A_i)) = \pi'(\varphi(A_j))$). Jedem Formelement E aus U entspricht demnach ein Formelement E´ aus U´ und beide haben gleichviele Komponenten (d.s. Gradzahlen von Arbeitsgruppen). Da die Abbildung $\varphi$ auf B umkehrbar eindeutig ist, gilt für alle Arbeitsgruppen von B, daß $|A| = |\varphi(A)|$, d.h. aber, daß die Grade der in den Formelementen E und E´ zusammengefaßten Arbeitsgruppen d.s. die Komponenten von E bzw. E´, gleich sind. Damit sind die Formelemente gleich. Isomorphe Unterrichtsschemata enthalten dieselben Formelemente. Dann sind aber auch die Formen gleich, wenn man hinzunimmt, daß $|B| = |B'|$ gilt.

In Beispiel 18 haben beide Schemata dieselbe Form, nämlich (6; [2], [2,2]). Die Umkehrung des vorstehenden Satzes gilt nicht. Unterrichtsschemata können gleiche Formen haben, ohne isomorph zu sein, wofür man leicht Beispiele findet.

Schrifttumsverzeichnis


| | |
|---|---|
| Breuer, J. | Einführung in die Mengenlehre, Schroedel, 1964 |
| Fischer, W. | Einführung in die Mengenlehre, Mathematische Arbeitshefte, Klett 1956 |
| Haupt, D. | Mengenlehre, Leipzig, 1966 |
| Kamke, E. | Mengenlehre, Sammlung Göschen, 1955 |


Eingegangen am 14. Dezember 1967

Anschrift des Verfassers:
Dr. Manfred Leppig, 44 Münster, Platz der Weißen Rose

VERHALTENSLOGIK

von Lothar *Philipps*, St. Ingbert

Georg H. v. Wright hat in seinem Buch "Norm and Action" (1963) eine "Verhaltenslogik" (Logic of Action) entworfen, die vor allem als Grundlage der Normlogik dienen soll. v. Wrights Verhaltenslogik ist m.E. im Prinzip zutreffend und fruchtbar; im folgenden soll jedoch eine Modifikation vorgeschlagen werden, die zweckmäßig sein dürfte.

v. Wright geht davon aus, daß eine *Handlung* einen *Vorgang* voraussetzt, in den ein Subjekt eingreift. Einen Vorgang faßt er als die Abfolge zweier *Zustände* auf. Z.B.: Daß ich eine Tür offenhalte, setzt den Vorgang voraus, daß eine Tür sich schließt (etwa kraft einer eingebauten Feder).
In diesen Vorgang greift meine Handlung ein. Der Vorgang des Sich- Schließens der Tür läßt sich als die Abfolge zweier Zustände der Tür auffassen: daß sie offen ist, und daß sie geschlossen ist.

I.
v. Wright arbeitet zunächst die Logik der Vorgänge (Logic of Change) aus. Er charakterisiert Vorgänge durch einen dyadischen Funktor T, dessen Argumente Aussagen sind. Der Buchstabe T soll "Transformation" andeuten; um das Schriftbild zu entlasten, werde ich ihn freilich im folgenden nicht verwenden, sondern die Argumente einfach nebeneinanderschreiben.

pp z.B. besagt, daß der durch p ausgedrückte Zustand bestehen bleibt; $p\bar{p}$, daß er verschwindet. Soll p z.B. bedeuten, daß eine Tür offen ist, und $\bar{p}$ demnach, daß sie nicht offen, also geschlossen ist, so bedeutet $p\bar{p}$, daß sie sich schließt.

Im freien Anschluß an den Carnapschen Sprachgebrauch verwendet v. Wright den Begriff der "Zustandsbeschreibung" (state-description). Eine Zustandsbeschreibung ist eine Klasse von Aussagen, die von jeder von n atomaren Aussagen entweder die Aussage selbst oder ihre Negation enthält. Im Hinblick auf n atomare Aussagen lassen sich $2^n$ Zustandsbeschreibungen aufstellen. Da jede der $2^n$ Zustandsbeschreibungen als Beschreibung eines Ausgangszustands durch den Vorgangsfunktor mit jeder der $2^n$ Zustandsbeschreibungen als Beschreibung eines Endzustands verknüpft werden kann, ergeben sich $2^{2n}$ "Vorgangsbeschreibungen" (change-descriptions). v. Wright nimmt an, daß die Disjunktion der $2^{2n}$ Vorgangsbeschreibungen eine "T-Tautologie" sei , entsprechend der tautologischen Disjunktion der $2^n$ Zustandsbeschreibungen. Die einfachste Form der "T-Tautologie" ist $pp \vee p\bar{p} \vee \bar{p}p \vee \bar{p}\bar{p}$, - eine Art "Satz vom ausgeschlossenen Fünften" in der Vorgangslogik. Z.B.: "Eine Tür (zu einem beliebigen Zeitpunkt) bleibt entweder offen, oder sie schließt sich, oder sie öffnet sich, oder sie bleibt geschlossen."

So plausibel dieser Ansatz ist, er führt zu unbequemen und keineswegs einleuchtenden Abweichungen von der herkömmlichen Aussagenlogik, deren Verknüpfungssystem eben auf der Möglichkeit von genau $2^n$ Wahrheitswertverteilungen beruht, und von den Intentionen der natürlichen Sprache. Das zeigt sich vor allem an der Negation: Nach v. Wrights Konzeption ist die Negation eines elementaren Vorgangsausdrucks logisch äquivalent mit der Disjunktion der übrigen drei anderen. Daß z.B. eine Tür nicht offenbleibt, heißt soviel wie: daß sie sich schließt oder daß sie sich öffnet oder daß sie geschlossen bleibt.

Dem natürlichen Sprachgebrauch entspricht das nicht. Daß eine Tür nicht offenbleibt, bedeutet in der natürlichen Sprache etwas wesentlich Stärkeres: nämlich daß sie sich schließt. Und umgekehrt: daß sie sich nicht schließt, bedeutet, daß sie offenbleibt. Oder: Daß jemand nicht stirbt, heißt, daß er am Leben bleibt; daß er nicht am Leben bleibt, heißt, daß er stirbt. Die Negation eines Vorgangs ist hier logisch äquivalent mit der Negation des Endzustands unter der Voraussetzung des Anfangszustands. Es ist der "Übergang", der verneint wird.

Das Problem der Negation von Vorgangsaussagen war schon der Antike bekannt, die es in besonders zwingender Weise formuliert hat. Aus der Sophistik ist uns das Schema einer Fangfrage überliefert (gerichtet an einen, der sich anheischig gemacht hat, jede Frage mit ja oder nein zu beantworten): "Hast du aufgehört, deine Frau zu schlagen?" Vom Standpunkt v. Wrights aus kann man diese Frage in der Tat immer mit ja oder nein beantworten. Wenn man seine Frau nie geschlagen hat, ist die Verneinung ebenso wahr, wie wenn man nicht aufgehört hat sie zu schlagen; ebenso wenn man gerade erst damit anfängt. Wer wollte sich aber mit dieser Möglichkeit der Antwort zufrieden geben? Man würde entgegnen, daß die Frage "gegenstandslos" sei, weil in ihr stillschweigend der unzutreffende Ausgangszustand vorausgesetzt sei, daß man seine Frau bereits geschlagen hat.

Um solchen Bedenken Rechnung zu tragen, soll das System modifiziert werden. Im folgenden sei unter einem "Zustandsausdruck" ein Ausdruck im Sinne der nicht um den Vorgangsfunktor erweiterten Aussagenlogik verstanden.

1) Ein (atomarer oder molekularer) Vorgangsausdruck soll nur dann als wohlgeformt angesehen werden, wenn die Klasse der im ersten Glied stehenden Zustandsausdrücke genau eine Zustandsbeschreibung im Hinblick auf die in dem Vorgangsausdruck vorkommenden atomaren Zustandsausdrücke bildet.

2) Ist diese Zustandsbeschreibung (logisch widerspruchsfrei aber) faktisch unwahr, so soll der Vorgangsausdruck (zwar nicht als sinnlos aber) als "gegenstandslos" betrachtet werden.

Ein Vorgangsausdruck, der die Voraussetzung zu 1) erfüllt, ist z.B. $\bar{p}p \rightarrow q\bar{q}$. Die Klasse der im ersten Glied stehenden Zustandsausdrücke $\bar{p}$ und q bildet genau eine Zustandsbeschreibung im Hinblick auf die vorkommenden atomaren Ausdrücke p und q. Dagegen ist eine "T-Tautologie" nach v. Wright nun kein wohlgeformter Ausdruck mehr. Z.B. nicht $pp \vee p\bar{p} \vee \bar{p}p \vee \bar{p}\bar{p}$. Denn p und $\bar{p}$, die beide im ersten Glied stehen, können nicht in derselben Zustandsbeschreibung vorkommen. Diese "T-Tautologie" zerfällt in zwei wohlgeformte, aber syntaktisch nicht miteinander verknüpfbare Ausdrücke: $pp \vee p\bar{p}$ einerseits und $\bar{p}p \vee \bar{p}\bar{p}$ andererseits.

In solchen Ausdrücken - z.B.: "Eine Tür bleibt entweder offen, oder sie schließt sich", "Jemand bleibt entweder am Leben oder er stirbt" - erkennen wir das Prinzip des ausgeschlossenen Dritten wieder. Ob man hier noch von "Tautologien" reden sollte, ist freilich zweifelhaft. Eine solche Aussage kann zwar nicht "falsch" sein; aber sie bezieht sich doch auf einen bestimmten Ausgangszustand und ist "gegenstandslos", wenn dieser nicht vorliegt.

Da einem Vorgangsausdruck mit der Zustandsbeschreibung des Ausgangszustands eine syntaktische Kategorie zugeteilt ist, die er nicht überschreiten kann, beschränkt sich der Wirkungsbereich logischer Operationen auf die Ausdrücke im zweiten Glied. Das bedeutet, daß man Vorgangsausdrücke logisch umformen kann, indem man die Ausdrücke im zweiten Glied umformt, was nach den Regeln der klassischen Aussagenlogik geschieht. So ist $\bar{p}p \rightarrow q\bar{q}$ - was z.B. interpretiert werden könnte mit: "Stets wenn die Tür aufgeht, schlägt das Fenster zu" - logisch äquivalent mit $\bar{p}\bar{p} \vee q\bar{q}$ und mit $qq \rightarrow \bar{p}\bar{p}$. Ja man kann die logischen Funktoren von den Vorgangsausdrücken auf die Zustandsausdrücke im zweiten Glied "verschieben" und so zu einem molekularen Vorgangsausdruck einen äquivalenten atomaren bilden. pp z.B. ist äquivalent mit $p\bar{p}$, $\bar{p}\bar{p} \vee q\bar{q}$ mit $(\bar{p} \& q)$ $(\bar{p} \vee \bar{q})$.

Die vorgeschlagene Modifikation des v. Wrightschen Systems würde freilich zu einer allzu einschneidenden Beschränkung der Ausdrucksmöglichkeiten führen, wenn man bei jeder Vorgangsaussage, die nicht wenigstens gegenstandslos sein soll, den Ausgangszustand kennen und angeben müßte. Das ist jedoch deshalb nicht der Fall, weil man abstrakte Vorgangsausdrücke bilden kann. Für jeden atomaren Vorgangsausdruck gilt, daß das zweite Glied entweder dem ersten gleich oder von ihm verschieden ist. Wenn man nun davon abstrahiert, ob die Zustandsausdrücke positiv oder negativ sind, kann man die Vorgänge, die durch Aussagen der Formen $p\bar{p}$ und $\bar{p}p$ ausgedrückt werden, als Vorgänge der "Veränderung", und die Vorgänge, die durch Aussagen der Formen pp und $\bar{p}\bar{p}$ ausgedrückt werden, als Vorgänge des "Gleichbleibens" zusammenfassen. Und man kann - was hier nicht weiter ausgeführt werden soll - abstrakte Vorgangsausdrücke einführen, wie z.B. in der natürlichen Sprache "sich bewegen": "Die Tür bewegt sich."

II.

Ein Ausgangszustand gestattet die Unterscheidung zweier Vorgänge: daß er sich gleichbleibt, und daß er sich verändert. Wenn sich ein Vorgang vollzieht, können wir zweierlei Weisen unterscheiden, wie jemand sich zu ihm verhält: entweder er läßt ihn sich vollziehen, oder er greift in ihn ein und bewirkt einen anderen Endzustand. Dabei können wir in der juristischen Terminologie zwischen "erfolgsbewirkendem" und "erfolgsabwendendem" Handeln unterscheiden - je nachdem, ob ein Vorgang des Gleichbleibens oder ein Vorgang der Veränderung eines anfänglichen Zustands vorausgesetzt ist. Z. B.: Eine Tür schließen, eine Tür offenhalten. Voraussetzung für das erste ist, daß die Tür offenbleiben würde; Voraussetzung für das zweite, daß sie sich schließen würde.

Außer der logischen soll auch noch die faktische Möglichkeit vorausgesetzt werden, auf einen Vorgang einzuwirken oder sich einer Einwirkung zu enthalten; sonst wird man vernünftigerweise nicht von "Tun" und "Lassen" sprechen.

Allgemein gilt folgendes: Aus n atomaren Zustandsausdrücken lassen sich $2^n$ Zustandsbeschreibungen bilden. Als Beschreibung eines Ausgangs - und eines Endzustands miteinander verknüpft, ergeben sie $2^{2n}$ Vorgangsbeschreibungen. Da jeder Vorgang durch den, der ihn beherrscht, entweder zu einem anderen Endzustand hingelenkt wird - oder eben nicht, müssen die $2^{2n}$ Vorgangsbeschreibungen noch einmal mit den $2^n$ Zustandsbeschreibungen kombiniert werden. So ergeben sich $2^{3n}$ "Verhaltensbeschreibungen" (act-descriptions). Die Disjunktion der $2^{3n}$ Verhaltensbeschreibungen sieht v. Wright als "Verhaltenstautologie" an. Eine "Verhaltenstautologie" in der einfachsten Form wäre etwa: "Ich schließe die Tür; oder ich unterlasse es, die Tür zu schließen; oder ich halte die Tür offen, oder ich unterlasse es, die Tür offenzuhalten; oder ich halte die Tür geschlossen; oder ich unterlasse es, die Tür geschlossen zu halten; oder ich öffne die Tür; oder ich unterlasse es, die Tür zu öffnen." Freilich: wenn dieser Satz noch verhältnismäßig plausibel ist, so deshalb, weil eine Tür ein zu mannigfacher Handhabung geeigneter Gegenstand ist. Man versuche aber einmal, einen doch so elementaren Handlungsausdruck wie "Töten" zur "Verhaltenstautologie" zu ergänzen! Die hier auftretenden Verhaltensalternativen sind so weit voneinander entfernt, daß es schon des Witzes eines Schleiermacher bedarf, um einen Zusammenhang aufrechtzuerhalten: Das fünfte aus den "Geboten für Eheleute": "Du sollst nicht absichtlich lebendig machen!"

Die Negation eines elementaren Verhaltensausdrucks ist nach v. Wrights Konzeption logisch äquivalent mit der Disjunktion der übrigen sieben anderen, was sich mit dem natürlichen Sprachgebrauch fraglos nicht mehr berührt. Wenn aber die Verhaltenslogik vor allem als Grundlage der Normlogik dienen soll, darf sie die Nähe zur natürlichen Sprache nicht aufgeben. Denn der Erlaß von Gesetzen, die Erteilung von Befehlen und Erlaubnissen sind Akte der Kommunikation, die auf die natürliche Sprache angewiesen sind.

v. Wright führt die Vorgangslogik in der gleichen Weise zur Verhaltenslogik fort, wie die Zustandslogik zur Vorgangslogik. Es scheint ratsam, dieses Vorgehen in der gleichen Weise wie dort durch die Einführung syntaktischer Kategorien zu modifizieren.

Zunächst sei ein Funktor A (was agere, agir usw. andeuten soll), für "Handeln" eingeführt: $Ap\bar{p}$.

1) Ein Handlungsausdruck soll nur dann als wohlgeformt angesehen werden, wenn die Klasse der Negationen der neben den A-Funktoren stehenden Vorgangsausdrücke genau eine Vorgangsbeschreibung im Hinblick auf die in dem Handlungsausdruck vorkommenden atomaren Zustandsausdrücke bildet.

2) Ist eine Vorgangsbeschreibung faktisch unwahr oder gegenstandslos, so soll der Handlungsausdruck als gegenstandslos betrachtet werden.

Die Negation eines Handlungsausdrucks findet nun ihre Grenze in der Vorgangsbeschreibung, die vorausgesetzt ist. Wenn $Ap\bar{p}$ ($\leftrightarrow$ $A\overline{p\bar{p}}$) beispielsweise bedeutet, daß jemand eine Tür schließt (macht, daß sie nicht offen bleibt), so ist auch in $\bar{A}p\bar{p}$ der Vorgang vorausgesetzt, daß die Tür offenbleibt.
Es ist zweckmäßig, noch einen zweiten Verhaltensfunktor L (lassen, laisser usw.) zu verwenden.

$$Lpp =_{df} \bar{A}p\bar{p}$$

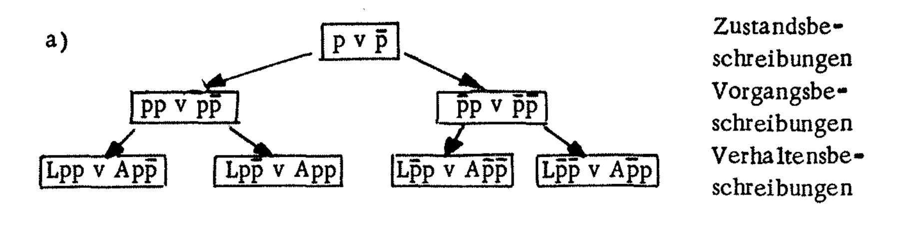
Z. B.: "Jemand läßt eine Tür dann und nur dann offenstehen, wenn er sie nicht schließt (sie zu schließen unterläßt)."

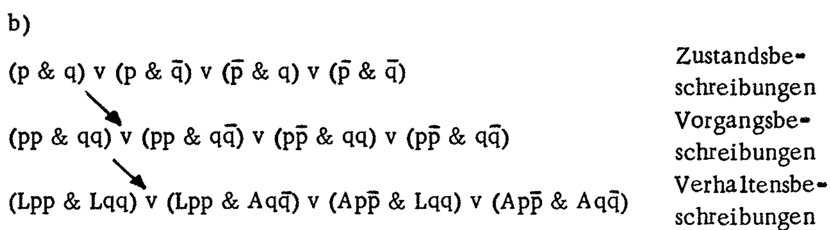
Unter Verwendung des L-Funktors läßt sich beispielsweise der Ausdruck $Ap\bar{p} \rightarrow Aq\bar{q}$ - was heißen könnte: "Wenn ich die Tür öffne, schließe ich das Fenster" - umformen zu $L\bar{p}\bar{p} \vee Aq\bar{q}$ und zu $Lqq \rightarrow L\bar{p}\bar{p}$.

Freilich kennt die natürliche Sprache auch negative Handlungsaussagen, für die die Äquivalenz von Nichttun und Lassen nicht gilt, wie sie auch an keine Handlungsvoraussetzung gebunden sind. Die Aussage, daß jemand eine Tür nicht geschlossen habe, kann in der Weise verwandt werden, daß sie auch dann sinnvoll und wahr zu sein beansprucht, wenn jene Tür bereits geschlossen war oder faktisch keine Möglichkeit bestand, sie zu schließen. Hier kann von einem "Offenstehenlassen" natürlich keine Rede sein. Aber in diesem Falle geht es um den Gegensatz von Täterschaft und Nichttäterschaft, und nicht um den von Tun und Unterlassen. Daß jemand eine Handlung nicht begangen habe, bedeutet in diesem Sinne, daß er nicht Element der Klasse von Personen sei, die durch die angegebene Verhaltensaussage bestimmt ist. Es ist die Funktion des Ausdrucks "Unterlassen" in der natürlichen Sprache, klarzustellen, daß ein Nichthandeln unter der Voraussetzung der (logischen und faktischen) Handlungsmöglichkeit gemeint ist. In der Kunstsprache bedarf es keines eigenen Ausdrucks, da die Verwendungsweise negativer Handlungsaussagen durch ausdrückliche Formregeln bestimmt sein muß.

**III.**

Zum Schluß sei noch der Stammbaum der syntaktischen Kategorien aufgezeichnet, und zwar a) für einen und b) teilweise für zwei atomare Zustandsausdrücke.




Den Pfeilen entgegen kann man die syntaktischen Entscheidungen zurückverfolgen, die den Ausdrücken zugrundeliegen. Mit der Einführung der atomaren Zustandsausdrücke, der Funktoren und der Formregeln ist eben noch nicht determiniert, welche Vorgangs- und Verhaltensausdrücke zulässig sind. Erst mit der Anwendung der Logik werden die syntaktischen Kategorien fixiert. Auf diese Weise hält das universe of discourse stets den Umfang von $2^n$ Zustands-, Vorgangs- oder Verhaltensbeschreibungen ein, die mit den üblichen aussagenlogischen Verkürzungen ausgedrückt werden können.

## Schrifttumsverzeichnis

v. Wright, Georg Henrik — Norm and Action. London 1963, Routledge & Kegan Paul

Eingegangen am 9. Februar 1968

Anschrift des Verfassers:
Dr. Lothar Philipps, 667 St. Ingbert, Am Rischbacher Rech 82

# ZUR MATHEMATISCHEN LERNTHEORIE

von Gustav *Feichtinger*, Bonn

In diesem Aufsatz wird versucht, einen Überblick über Stand und Problemkreis der *mathematischen Lerntheorie* zu geben. Infolge des knappen Raumes können nur einige wenige Aspekte erwähnt werden: keinerlei Vollständigkeit wird angestrebt. Der Zweck dieser Ausführungen besteht einerseits in der Diskussion typischer Fragestellungen der mathematischen Lerntheorie, andererseits in der Skizzierung von Methoden, die zur Bewältigung derartiger Probleme entworfen wurden. Zum dritten werden wir die Lerntheorie als Teilgebiet der Kybernetik (Systemtheorie) diskutieren.

## *Mathematische Lernmodelle*

Was versteht man unter "*mathematischer Lerntheorie*"?
In der Psychologie erhält man aufgrund von *Experimenten Daten*, welche gespeichert und verarbeitet werden müssen, um *Schlüsse* daraus ziehen zu können. Unter einer mathematischen Lerntheorie kann man ein *Gerüst zur Analyse von Daten* verstehen. welche in Experimenten mit Tieren, Menschen oder Menschengruppen gesammelt werden. Manchen Psychologen erscheint eine solche Analyse unnötig, ja wesensfremd. Hier soll nicht über "geisteswissenschaftliche Psychologie wider Behaviorismus" und ähnliche Themen abgehandelt werden. Dem folgenden liegt die Überzeugung zugrunde, daß die mathematische Analyse imstande ist, Beiträge zu den Verhaltenswissenschaften zu leisten.

*Beispiel eines Lernexperimentes*: Eine Gruppe von Ratten soll in aufeinanderfolgenden Versuchen "lernen", sich in einem T-förmigen Käfig nach rechts zu wenden, falls sie (einzeln) am unteren T-Ende ausgesetzt werden. Für einen gegebenen Organismus bestehen die relevanten Daten aus einer Folge von falschen und richtigen Antworten, nämlich "links" (L) und "rechts" (R). Das Protokoll (die Realisierung des Durchganges) eines Lernexperiments sieht etwa folgendermaßen aus

L L R L R R L R R R ... (lauter R)

Für jede Ratte unserer Gruppe liege nun ein solches Protokoll vor. Die Aufgabe einer adäquaten Lerntheorie besteht nun in einer Beschreibung des Protokolls bzw. einer Erklärung seines Zustandekommens. Die Theorie wäre umso idealer,

je genauer der Verlauf eines Experiments vorhergesagt werden könnte. Obwohl die mathematische Lerntheorie dies natürlich nicht leistet, so gelingt es ihr, aus einer Stichprobe von solchen Versuchsfolgen statistische Eigenschaften des betreffenden Lernexperiments vorauszusagen. Es ist verblüffend, was der Theoretiker alles - unter bloßer Zugrundelegung einiger weniger Postulate - aus den Daten eines Lernexperiments herausdestillieren kann. Beispielsweise können folgende Statistiken beim Rattenbeispiel von Interesse sein:

die durchschnittliche Anzahl der Irrtümer vor dem Lernen,
die durchschnittliche Versuchsnummer des n-ten Erfolgs,
die durchschnittliche Anzahl der aufeinanderfolgenden Irrtümer.

Diese Statistiken stellen verschiedene Fragen an die Daten, und jede zeigt nur einen ganz bestimmten Ausschnitt (Schnappschuß) der vorliegenden Wirklichkeit. Die mathematische Lerntheorie kann man dann geradezu als eine "Integration dieser Schnappschüsse" auffassen (Hilgard und Bower, 1966).

Gleichwohl sollen Modelle nicht nur eine ökonomische Beschreibung, sondern auch eine Erklärung des Zustandekommens der Daten ermöglichen. Dabei sind Daten als erklärt anzusehen, wenn ein theoretisches System (Modell) vorliegt, dessen Regeln Resultate produzieren, welche den Beobachtungen so ähnlich sind, daß die Abweichungen als zufällige betrachtet werden dürfen.

Es ist wichtig, sich zu verdeutlichen, daß in Wirklichkeit so etwas wie die mathematische Lerntheorie gar nicht existiert. D.h., es gibt keine einzelne Menge von Postulaten, woraus die verschiedenen Lernphänomene deduziert werden können. Unter mathematischer Lerntheorie haben wir somit methodologisch eine bestimmte Betrachtungsweise von Lernvorgängen zu verstehen, nämlich den formal-mathematischen approach.

Die heutigen Lerntheorien benützen im wesentlichen drei Grundbegriffe: Reiz (stimulus), Antwort (response) und Verstärkung (reinforcement). Durch den Begriff des Reizes wird auf die Umweltsituation des Lernenden verwiesen. Das meßbare Verhalten des Lernenden tut sich in seinen Antworten kund. Aufgrund der sogenannten verstärkenden Ereignisse ändert das lernende Subjekt sein Antwortverhalten: es lernt. Das einfache Beispiel des Vokabellernens möge dies verdeutlichen: Es sei eine Reihe von englischen und dazu äquivalenten deutschen Wörtern vorgegeben. Der Reiz besteht in der alleinigen Darbietung der englischen Vokabeln, die Antwort in der Ergänzung des entsprechenden fehlenden deutschen Wortes. Die Assoziation zweier bedeutungsgleicher Wörter wird durch deren paarweise Darbietung geprägt; darin ist also das verstärkende Ereignis zu sehen.

## Probabilistische Lernmodelle

Bush und Mosteller (1955) verstehen unter Lernen jede systematische Verhaltensänderung. Nun sind aber schon bei den einfachsten Lernexperimenten die Antworten in typischer Weise irrtumsbehaftet (vgl. das Vokabellernen). Als zentrale Variable der probabilistischen Lerntheorie tritt deshalb der Vektor der Antwortwahrscheinlichkeiten auf, dessen zeitliche Änderung bzw. Grenzverhalten studiert werden soll. (In unserem T-Käfig-Beispiel entspricht dies der Wahrscheinlichkeit $p_n$, daß eine Ratte im n-ten Versuch eines Lernexperiments nach links läuft.) Die Frage, ob das Verhalten ein echtes statistisches Phänomen darstellt, oder nur aufgrund ungesteuerter oder unkontrollierbarer Bedingungen stochastischer Natur ist, scheint nur schwer zu entscheiden. Die Lösung dieses Problems ist aber für die gegenwärtigen Betrachtungen nur von untergeordneter Bedeutung. Wir werden weiter unten ein stochastisches Modell vorschlagen, welches den Lernablauf, der sich in experimentellen Resultaten äußert, beschreiben kann.

Die meisten der heutigen mathematischen Lerntheorien begreifen den Lernvorgang als stochastischen Prozeß. Die den probabilistischen Lernmodellen zugrundeliegenden Postulate sollen die Änderung der Antwortwahrscheinlichkeiten beschreiben in Abhängigkeit von den sogenannten Versuchsausgängen, über welche der Experimentator verfügt. Erkennt man die Annahmen an, so hat man das Problem (nämlich die Vorhersage von Statistiken aus Daten) in ein rein mathematisches transformiert, welches der Wahrscheinlichkeitstheorie bzw. der mathematischen Statistik angehört. Darauf beruht auch die formale Natur eines Großteils der gegenwärtigen lerntheoretischen Literatur.

## Lineare stochastische Lernmodelle

Verdeutlichen wir uns die Situation, der sich ein lernendes Subjekt in einem Lernexperiment gegenübersieht. Jeder Versuch beginnt mit der Darbietung einer Reizsituation. Das Subjekt antwortet darauf durch Auswahl einer Aktion (Verhaltensweise) aus einer Menge von verfügbaren Alternativen. Der Versuch endet mit dem Auftreten eines sogenannten Ausganges (outcome) aus einer Menge von möglichen Ausgängen (z.B. Belohnung, Kenntnisgabe des Resultats). Das Lernen des Subjekts manifestiert sich in einer Änderung der Verhaltenswahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit von der Versuchsnummer.

Wir kommen nun zur Diskussion linearer Lernmodelle im Sinne von Bush und Mosteller (1955). Man kann zeigen, daß lineare Lernmodelle als Spezialfälle der Stimulus Sampling Theorie gedeutet werden können, in welcher die

Auswahl der Antwort mittels eines Stichprobenverfahrens geschieht, das für eine hypothetische Grundgesamtheit von Reizelementen definiert wird. Durch die Linearitätsannahme für die auftretenden Operatoren erweist sich die Modellgattung als analytisch flexibel, so daß sie einen Eckpfeiler der mathematischen Lerntheorie darstellt.

Die Grundidee ist einfach: Wir betrachten ein Lernexperiment mit zwei Wahlmöglichkeiten für die Reaktionen (two-choice situation). Es sei $p_t$ die Wahrscheinlichkeit, daß das Subjekt beim t-ten Versuch mit der Alternative 1 antwortet. Anläßlich jeden Versuches reagiert das Subjekt mit einer Antwort, und hierauf kommt es zu einer Belohnung oder Bestrafung bzw. Kenntnisnahme des Resultats oder ähnlichem. Tritt beim Versuch t das verstärkende Ereignis j ein, dann soll der neue Wahrscheinlichkeitswert der Antwort 1 beim Versuch t+1 eine lineare Funktion von $p_t$ sein:

$$p_{t+1} = a_j p_t + b_j$$

Die Parameter $a_j$ und $b_j$ spezifizieren, ob das Ereignis j eine Zunahme oder Abnahme der Variablen $p_t$ bewirkt.

Bush und Mosteller geben eine Reihe von Gründen an, welche für die Linearitätsvoraussetzung sprechen. Ein wesentlicher scheint die gute analytische Handhabbarkeit linearer Transformationen zu sein.

Stimulus Sampling Theorie

Charakteristisch für die gegenwärtige Situation der mathematischen Lerntheorie ist die bereits erwähnte Tatsache, daß keine Lerntheorie existiert, welche jede andere in allen Lernsituationen dominiert. Damit haben sich die Lernpsychologen jedoch offenbar schon abgefunden: Lernmodelle sind - grob gesprochen - idealisierte und unvollständige Karikaturen des Verhaltens von Organismen. D. h. die Lernmodelle funktionieren für gewisse eingeschränkte Situationen, während sie in anderen nicht adäquat, ja sogar falsch sein können. Doch schlummert in den Verhaltenswissenschaftlern sicherlich noch die Hoffnung, einmal eine mächtige Super-Theorie zu entwickeln, welche die vorliegenden Modelle in dem Sinne einigt, daß sie sich jeweils auf ein spezielles Modell reduziert, das der gerade vorliegenden Lernsituation angepaßt ist.

Die Stimulus Sampling Theorie (SST), zu Beginn der Fünfzigerjahre von Estes und Burke entwickelt (1953), hatte wohl eine Zeit lang die Intentionen einer solchen Super-Theorie. Ihr üblicher Name "Statistische Lerntheorie" scheint

m.E. keine gute Bezeichnung zu sein: Das Attribut "statistisch" kommt jedem probabilistischen Lernmodell zu. Dennoch hat sich diese Bezeichnung für die SST eingebürgert (vgl. z.B. Foppa, 1964), dies wohl aufgrund von Estes (1950).

Die Betrachtungsweise einer Assoziation von Reiz-Antwort (sog. S-R-approach) ist in der Psychologie wohl geläufig (Guthrie). Darauf baut die SST formalisierend auf. Unter einer Reizsituation versteht sie eine Grundgesamtheit von Umweltaspekten, welche auf das lernende Subjekt einwirken. Zwei Gründe werden für eine zufällige Fluktuation in der Stimulation genannt:

1. Die Änderung der Umgebung während eines Lernexperiments (z.B. äußere Störungen)
2. Änderungen im Subjekt (etwa Aufmerksamkeitswechsel)

Man nimmt deshalb an, daß anläßlich eines jeden Versuches eines bestimmten Lernexperiments aus der Grundgesamtheit von N Stimulus-Elementen eine Reiz-Stichprobe (stimulus sample) gezogen wird, deren Elemente auf den Organismus einwirken. Die SST postuliert, daß das jeweilige Verhalten (was sich in den gewählten Antworten äußert) durch den Zustand der gezogenen Reizelemente bedingt (konditioniert) ist. Die funktionale Verbindung (Assoziation) von Reizelementen und verfügbaren Antworten wird durch die verstärkenden Ereignisse umgeändert.

In der SST werden zwei Klassen von Modellen unterschieden:
a) Pattern Modelle: Jedem der N Reizelemente entspricht in der empirischen Interpretation ein ganzes "pattern" (Bündel) von Reizen. Pro Versuch eines Lernexperiments wird stets nur ein Reizelement in die Stichprobe gezogen.

b) Komponenten Modelle: Einem Stimulus-Element ist nur ein Aspekt (Komponente) des vollen Reizmusters zugeordnet. Erst eine Stichprobe konstituiert ein ganzes Reizbündel.

Der ausführlichste Übersichtsartikel über die SST ist wohl jener von Atkinson und Estes (1963). Da die mathematische Analyse im allgemeinen ziemlich komplex ist, so empfiehlt es sich, mit dem einelementigen Modell (N=1) zu beginnen. Dazu zieht man mit Vorteil die ausgezeichnete Arbeit von Bower (1961) über paarweise assoziierendes Lernen heran.

Lerntheorie und Systemtheorie

In einer Arbeit des Verfassers (Feichtinger, 1968 a) wurde am Beispiel des einelementigen Modells skizziert, in welcher Weise die Stimulus Sampling Theo-

rie sich der Theorie abstrakter Automaten angliedern läßt. Die Automatentheorie ist eine in Wechselwirkung mit Problemen der Anwendung (Nervennetze, logische Netze, Schaltwerke) entstandene Teildisziplin der abstrakten Algebra. Man betrachtet Systeme, die in einer diskreten Zeitskala arbeiten (Automatentheorie als Teilbereich der Theorie diskreter Systeme). In jedem Takt empfängt das System aus seiner Umwelt genau ein sogenanntes Eingabesignal und sendet ein Ausgabesignal aus. Das System kann in jedem Takt genau einen Zustand annehmen. Ein Zustandswechsel ist nur beim Übergang von einem Takt t zum nächsten t + 1 möglich. Ist das System beim Takt t im Zustand z und wirkt das Eingabesignal e, so ist der Zustand im Takt t + 1 eindeutig bestimmt (determinierte Automaten). Das Ausgabekonzept werde im Sinne von Moore geregelt: Hierbei hängt die Ausgabe im Takt t eindeutig vom Zustand zur Zeit t ab. Ist der unmittelbare Nachfolgezustand von z durch z und e nicht mehr determiniert, sondern nur mehr gemäß einer Wahrscheinlichkeitsverteilung festgelegt, so sprechen wir von einem stochastischen Automaten. Die Ausgabe bleibe aber durch den jeweiligen Zustand festgelegt; für das folgende werden wir die Menge der Ausgabesignale mit der Zustandsmenge sogar identifizieren.

Wir skizzieren nun einen Ansatz, der an anderer Stelle (Feichtinger, 1968 b) ausführlicher und exakter behandelt werden soll. Dabei wird ein lernendes Subjekt als stochastischer Automat gedeutet. Die verstärkenden Ereignisse dienen dabei als Inputsignale, die möglichen Antworten als Zustände bzw. Ausgaben. Systeme lernen in Interaktion mit ihrer Umwelt. Lernvorgänge lassen sich demgemäß durch zwei zusammengekoppelte Automaten beschreiben. Während das lernende System S durch den einen (stochastischen) Automaten dargestellt wird, ist im andern Automaten L die relevante Umwelt subsumiert. Der Automat L steuert den Lernprozeß im System S, welches den Lernfortschritt an L rückmeldet, so daß L seine Lernpolitik in adaptiver Weise gestalten kann. (Eine Lernpolitik ist - automatentheoretisch - eine Kette von Ausgabesymbolen von L (bzw. Inputsymbolen von S).) In diesem Schüler-Lehrer (S-L)-System spielt sich das Lernen also folgendermaßen ab: Unter Einwirkung einer Umweltveränderung (Aktion von L) wechselt der lernende Automat S seinen inneren Zustand, was sich in einer Verhaltensänderung offenbart. Die Reaktion des Lernenden (Ausgabesignal von S) bewirkt eine Zustandsänderung des lehrenden Automaten L. Die Ausgabesignale von L (bekräftigende Ereignisse) dienen als Input von S und steuern so den Lernvorgang (Prinzip der Rückkoppelung).

Wir wollen hier davon absehen, daß sich z. B. der programmierte Unterricht in dieser Weise formalisieren läßt (Lehrmaschine ... Lehrautomat L, Schüler ... Automat S). Im erwähnten T-Käfig ist das Verhalten der Ratte in S idealisiert,

während der Experimentator durch den Automaten L dargestellt wird. Es sei noch darauf hingewiesen, daß in vielen gängigen verhaltenspsychologischen Lernexperimenten L ein ausgearteter Automat ist. So ist beim "Wahrscheinlichkeitslernen" L einfach ein Bernoulli-Prozeß. (Ein typisches Experiment dazu ist das Vorhersageexperiment von Estes & Straughan: S soll lernen vorherzusagen, welches von zwei Lämpchen anläßlich eines Lernversuches aufleuchten wird. Dabei läßt L die Lampen gemäß einem Bernoulli-Prozeß, also mit jeweils festen Wahrscheinlichkeiten aufleuchten (Vgl. Feichtinger, 1969).)

## Abschließende Bemerkungen

Es scheint bisher kaum bemerkt worden zu sein, daß die Begriffsbildungen der sogenannten statistischen Lerntheorie und der linearen stochastischen Lernmodelle im wesentlichen systemtheoretischer Natur sind. Da in diesen Theorien Lernvorgänge als im Zeitparameter diskrete stochastische Prozesse beschrieben werden, so dürfte die Automatentheorie (als Spezialfall der diskreten Systemtheorie) ein passendes Modellgerüst dafür darstellen. Wodurch wird diese Betrachtungsweise gerechtfertigt?

Zunächst ist die Gültigkeit lerntheoretischer Aussagen in allgemeineren Systemen an sich von Bedeutung. Ergebnisse der Lerntheorie erweisen sich als Sätze der Theorie stochastischer Automaten.

Zweitens wird ein oftmals zusammenhangloses Nebeneinanderstehen von Modellen aufgehoben. Wer versucht, in die Literatur über probabilistische Lernmodelle einzudringen, wird finden, daß manche Modelle nicht ganz leicht zu durchschauen sind. Schwieriger jedoch ist es, einen Überblick über die vorhandenen Modellgattungen zu erlangen bzw. zu bewahren. Ein systemtheoretisches Konzept ist m.E. auch geeignet, diesbezüglich ein besseres Verständnis zu schaffen.

Ferner ist der automatentheoretische approach imstande, echt neue Probleme aufzuwerfen und zu beantworten. Die Frage nach optimalen Lernstrategien etwa gehört ins Grenzgebiet zwischen Entscheidungs- und Automatentheorie (vgl. Feichtinger, 1968 c).

Die Automatentheorie ist als Zweig der Systemtheorie ein kybernetisches Teilgebiet. Die Kybernetik selbst ist keine Wissenschaft, sondern eine ganz bestimmte Betrachtungsweise der Dinge, eine besondere Art an sie heranzugehen. Die Automatentheorie ist ein derartiges Werkzeug. Die Lerntheorie scheint hervorragend dafür geeignet zu sein, systemtheoretische Behandlungsweisen in die "Behavioral Sciences" eindringen zu lassen.

Naturgemäß besteht die Gefahr, daß es dadurch nur zu einer geschraubten Ausdrucksweise kommt. Die so entstehende Verschleierung der Tatsachen hat die Kybernetik gelegentlich in Mißkredit gebracht. Es wird vertiefter zukünftiger Untersuchungen bedürfen, um die Verwendung kybernetischer Methoden in der Lerntheorie zu rechtfertigen.

## Zusammenfassung

Obwohl die Zeit der stürmischen Anfangserfolge in der Lerntheorie beendet zu sein scheint, gewinnen mathematische Lernmodelle in den Verhaltenswissenschaften (Psychologie, Soziologie und Ökonomie) eine wachsende Bedeutung.

Nach der Diskussion des linearen Lernmodells und der Stimulus Sampling Theorie wird skizziert, in welcher Weise das Gerüst probabilistischer Lernmodelle mittels Begriffsbildungen aus der Automatentheorie beschrieben werden kann. Diese kybernetische Betrachtungsweise scheint geeignet, Ordnung in die Vielfalt bestehender Lernmodelle zu bringen.

(Nach einem Vortrag, gehalten im Dezember 1967 an der Universität Bonn)

## Schrifttumsverzeichnis

Atkinson, R.C.
Estes, W.K. — Stimulus Sampling Theory. In: Handbook of Mathematical Psychology, Vol. II, R.D. Luce, R.R. Bush and E. Galanter (eds.), New York, Wiley, 121 - 268, 1963

Bower, G.H. — Application of a model to paired-associate learning. Psychometrika 26, 255-280, 1961

Bush, R.R.
Mosteller, F. — Stochastic Models for Learning. New York, Wiley, 1955

Estes, W.K. — Toward a statistical theory of learning. Psychol. Rev., 57, 94-107, 1950

Estes, W.K.
Burke, C.J. — A theory of stimulus variability in learning. Psychol. Rev., 60, 276-286, 1953

Feichtinger, G. — Eine automatentheoretische Deutung des einelementigen Lernmodells der Stimulus Sampling Theorie. GrKG 9/1, 1968 a

Feichtinger, G. Stochastische Automaten als Grundlage linearer Lernmodelle. Statistische Hefte, 1968 (b), Heft 4 (oder 1969 Heft 1)

Feichtinger, G. Optimale Darbietungen (Lehrstrategien) zweier Items in der statistischen Lerntheorie. Vortrag am 6. Symposion über Progr. Instruktion und Lehrmaschinen in München, März 1968 c

Feichtinger, G. "Wahrscheinlichkeitslernen" in der statistischen Lerntheorie. Metrika, Anfang 1969

Foppa, K. Probabilistische Lernmodelle. In: Handbuch der Psychologie 1. Band, 2. Halbband: Lernen und Denken. R. Bergius (Hrsg.), Hogrefe, Göttingen 1964

Hilgard, E.R. Bower, G.H. Theories of Learning. Third ed., New York, Appleton-Century-Crofts, 1966

Eingegangen am 6. März 1968

Anschrift des Verfassers:
Dr. Gustav Feichtinger, Institut für Gesellschafts- und Wirtschaftswissenschaften der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, Statistische Abteilung, 53 Bonn, Lennéstr. 37

## HANZEICHEN OHNE IDEOGRAFISCHE FUNKTION

von Peter Kümmel, Tokio

Nachstehende Zeilen sollen der Ungewißheit über den ideografischen Wert der Chinesischen Schriftzeichen grundsätzlich ein Ende setzen.

Um genauere Charakteristika eines Chinesischen Schriftzeichens zu besprechen und gleichfalls den Begriff Ideografie zu klären, ist a priori eine Betrachtung seiner Struktur und Funktion erforderlich. Hierfür bietet sich

a) die LIU SHU-Analyse, eine klassische Einteilung aller Hanzeichen-Einheiten in sechs Gruppen, an. Nach eingehender Sichtung aller Unterlagen über diese Analyse stellt sich jedoch heraus, daß keine vollständige Ausführung auffindbar ist. Unzählige Kommentare und Interpretationen, oft sehr widersprüchlichen Inhalts, verschleiern das Bild dieses über 2000 Jahre alten Ideenbeitrages, je mehr man sich mit ihnen befaßt.

Aber auch

b) Studien zur Etymologie der Schriftzeichen helfen in keiner Weise, da wegen Mangels authentischer Quellen nicht in jedem Fall akkurate Ergebnisse zu erlangen sind.

Als dritte Möglichkeit

c) verspricht schließlich eine zusätzliche Bezeichnung der Chinesischen Schriftzeichen Hinweis auf geeignetere Wege zum Verständnis ihrer Struktur und Funktion. Es handelt sich um die Betrachtung des Hanzeichens als 表意文字 BIAO YI WEN ZI (Zeichen zum Ausdruck einer Bedeutung), im Vergleich zu ebenfalls existierenden 表音文字 BIAO YIN WEN ZI (Zeichen zum Ausdruck eines Lautes).

Durch Abschnitt c wird verständlich, daß es sich bei Chinesischen Schriftzeichen um Einheiten willkürlichen Ausdrucks ganzer Bedeutungen handelt. Neben diesem permanenten Ausdruck für die sichtbare Perzeption existiert noch der akute in Form von Ausdrucksgebärden Taubstummer und nomadischer Völkerstämme. Diese mußten sich oftmals durch Abgeschiedenheit und dadurch entstandene unüberbrückbare Dialektunterschiede mittels Gebärden und sichtbarer Zeichen verständigen. (Vgl. Vucotic, M. 1958, Maesse, H. 1937, Hirsch, P. 1961, Tüllmann, A. 1961, Kaneda, Y. 1962, Ichimura, S. 1963, 1964.)

Strukturelle und funktionelle Untersuchungen dieser gebärdlich sichtbaren Ausdruckseinheiten offenbaren nicht nur verblüffende Parallelen zur LIU SHU-Analyse, sondern beweisen sogar strukturelle Identität des sichtbar akuten, (gebärdlich) mit dem des sichtbar permanenten Ausdrucks (grafisch). (Kümmel, 1966 und 1967 a.) Plötzlich lassen sich mannigfache Kommentare der LIU SHU-Analyse als wertlos erkennen. Sie dokumentieren oftmals nicht mehr als die Findigkeit der betreffenden Autoren, sich auf ältere, aber ebenso unzutreffende Sekundär-Beiträge zu beziehen.

Zur Klärung des Begriffs Ideografie führt eine Einteilung allen Ausdrucks und seines Inhalts in kleinste Einheiten am weitesten. Jene des Ausdrucks erhielten die Benennung BIAO, die seines Inhalts die Bezeichnung YI. Kurzbezeichnungen dieser Art erwiesen sich für Betrachtungen der Ausdrucksfunktion als unumgänglich, da insbesondere die Benutzung der Anzahl von Ausdruckseinheiten in Relation zur Anzahl seiner Inhaltseinheiten bedeutungsvoll ist. D. h. die Anwendung von BIAOs für den Ausdruck von YIs ist von Fall zu Fall unterschiedlich. Für den grafischen Ausdruck werden einmal mehrere BIAOs Träger einer Bedeutungseinheit (YI, bzw. Ausdrucksinhalts-Einheit), ein anderes Mal jedoch nur ein BIAO. Es handelt sich also um das anteilige Verhältnis, in dem BIAOs zum Ausdruck von YIs zur Anwendung gelangen. Man spricht von der BIAO-Rate (Kümmel, 1967 b).

Definition der BIAO-Rate

Die BIAO-Rate pro YI ist das Verhältnis, in dem BIAOs für den Ausdruck von YIs Verwendung finden. Dienen n BIAOs zum Ausdruck eines YIs, ist die BIAO-Rate n/1. Wird ein BIAO an n verschiedenen Stellen zum Ausdruck eines YIs verwandt, beträgt die BIAO-Rate 1/n.

Die "Erste Person Singularis" kann im Deutschen durch drei grafische Ausdruckseinheiten "i, c und h" sichtbar gemacht werden, wodurch diese national gebundene Ausdrucksweise eine BIAO-Rate von n= 3/1, also 3 aufweist. Im alpinen Deutsch (schwäbisch, bayrisch bis österreichisch) wird die gleiche Bedeutung jedoch nur durch ein BIAO "i" sichtbar zum Ausdruck gebracht. Die Rate beträgt 1/n. Dabei ist n sehr hoch, weil es an vielen anderen Stellen als Teil von BIAO-Folgen ebenfalls Verwendung findet. Es handelt sich um ein typisches Phänomen der fonografischen Ausdrucksweise, bei der die BIAO-Rate nur einen geringen Bruchteil von 1 annimmt. Um bei dem gleichen YI zu bleiben gibt es dennoch eine Rate, die näher an 1 zu liegen kommt. Durch den Kanal der hörbaren Sinneswahrnehmung kann das BIAO "i" als Fonem (kleinste, nicht zerteilbare lautliche Einheit) auch noch das YI für "Abscheu" tragen. Neben dem Begriff der

"Ersten Person Singularis" existiert im jugendlichen norddeutschen Volksmund auch diese zweite Bedeutung. Für die hörbare Perzeption würden abwechselnd zwei YIs (Bedeutungseinheiten) durch ein BIAO ausgedrückt. In diesem Fall beträgt die BIAO-Rate 1/2.

Die gegebene Begrenzung der Foneme, die das menschliche Stimmorgan zu erzeugen vermag, bringt es mit sich, daß man für den hörbaren Ausdruck nicht jede Bedeutungseinheit mit einem differenzierbaren Laut bestücken kann. Der sichtbare Ausdruck läßt weitaus mehr Möglichkeiten offen. Z. B. trägt die akute Einheit: "Gekrümmter bis gestreckter Zeigefinger in Nähe der seitlichen Stirn" ein und denselben Ausdrucksinhalt. Diese Ausdruckseinheit ist ohne Luftmodulation durch Glasscheiben, wie etwa Autofenster, bei entsprechender Lichtintensität einwandfrei perzipierbar. Sie bleibt allerdings national- oder regionsgebunden. In Japan wird das gleiche YI durch plötzliches Spreizen aller fünf Finger einer nach oben gerichteten Faust sichtbar ausgedrückt. Die dazu gehörige Ausdrucksetymologie weist in diesem Fall auf das nachbildende Moment: "explosionsartig geistig aus der Verfassung geraten, verrückt" hin. Beide Ausdruckseinheiten besitzen eine BIAO-Rate 1. D. h. eine Ausdruckseinheit dient einer Bedeutungseinheit zur Transmission, ohne daß sie an anderer Stelle für andere YIs weitere Verwendung findet, wie etwa das hörbare BIAO "i". Um weiterhin die Chinesischen Schriftzeichen außer acht zu lassen, sei die Schrifteinheit "§" erwähnt. Dieses Zeichen, das noch nicht einmal einen eigenen Laut besitzt, man nennt es "Paragrafzeichen", trägt nur eine Bedeutung. Es wird ausschließlich zum Tragen dieser Bedeutung benutzt. Wiederum dient eine Ausdruckseinheit einer Bedeutungseinheit. Sie kann auch als "treu" bezeichnet werden. Für die BIAO-Rate 1 ist folgende Funktion einer Ausdruckseinheit erforderlich:

a) Sie muß allein das Vermögen besitzen, dem Ausdruck einer Inhaltseinheit (1 YI) zu dienen, darf also nicht Bestandteil einer BIAO-Folge sein, wie es oft in BIAO-Aneinanderreihungen lauttragender Zeichen des grafischen Ausdrucks üblich ist.

b) Die Ausdruckseinheit muß "treu" sein, indem sie sich nur zum Ausdruck einer einzelnen Inhaltseinheit hergibt.

Ausdruck jedweder Perzeption gemäß der BIAO-Rate 1 ist somit als reine IDEO-EXPRESSION anzusprechen. Auf die Hanzeichen, den sichtbar permanenten, den grafischen Ausdruck bezogen spricht man von Ideografie.

Definition des Begriffs Ideografie

Ideografie ist Schreibung willkürlichen Ausdrucks, bei dem eine Schrifteinheit

ungeachtet ihres Inhaltsbezuges, einzeln, zum ausschließlichen Tragen einer Inhaltseinheit benutzt wird. Kürzer und genauer: Ideografie ist grafischer Ausdruck der BIAO-Rate 1 (Kümmel, 1967 b, S. 65).

Vorstehende Erläuterungen waren unumgänglich, um sich nun einer qualitativen Analyse der Hanzeichen zuzuwenden. Bisherige irreführende Fehlinterpretationen außer acht gelassen (selbst XU SHEN's Anmerkungen über die LIU SHU im Zusatz ZI SHU seines SHUO WEN XIE ZI lassen wesentliche Punkte offen, bzw. falsch interpretiert. Häufiger Bezug auf seine begrenzten Ausführungen gaben zu zahlreichen späteren Kommentaren Anlaß. Vor ihm befaßten sich bereits Gelehrte namens BAN GU und ZHENG ZHONG mit der LIU SHU-Einteilung. Wer sie jedoch ursprünglich konzipierte, ist bis heute unklar) - gibt die LIU SHU-Einteilung, als erste in der Menschheitsgeschichte nachweisbare Teilanalyse des willkürlichen Ausdrucks, wertvolle Hinweise auf Strukturen und Funktionen der Hanzeichen.

Nachstehende Erläuterung der Charakteristika von Zeichen aller Gruppen zeigt eindeutig, daß nur Einheiten der 6. Gruppe, der JIA JIE-Zeichen - (Die lautindizierende Schreibung der chinesischen Bezeichnungen erfolgte nach dem neuen, von der Volksrepublik China anerkannten HAN YU PIN YING FAN AN-System 汉语拼音方案 anstatt der älteren WADE/GILES-Transskription) - ihren ideografischen Funktionswert einbüßten. (Entnommen aus einer Arbeit zum Thema: Hanzeichen - Reform und Sichtbarer Ausdruck, für deren Zusammenstellung Ausführungen 170 japanischer, 150 anderssprachiger und 90 chinesischer Autoren, wie die Ergebnisse eines Studienaufenthalts in Volkschina Berücksichtigung fanden.)

Gruppe 1: 象形 XIANG XING, wörtlich: Erscheinung/ Form

Struktur

Darstellung: Ganzgestaltend, ikonisch
Konstellation: Monografisch
Piktografisches Ausmaß: Geringfügig bis stark verknappt
Strukturbedinger Inhaltsbezug: Voll bis begrenzt

Funktion

Lauttragende Funktion:

a) Tragen eines einsilbigen Lautes, der dem ursprünglichen Begriff, den das Zeichen verkörpert, zum Ausdruck dient.

b) Tragen von einsilbigen Lauten, die durch regionale Dialektunterschiede dem ursprünglichen Laut ähneln (Kanton-, Amoy-Dialekte usf.).

c) Tragen von Lauten (auch mehrsilbig), die durch nationale Sprachunterschiede (etwa Japanisch) keinen, oder nur geringen Bezug gemäß b zum ursprünglichen Laut der Schrifteinheit aufweisen. (Japanische KANGO-Ausdruckseinheiten, Koreanisch und Vietnamesich der hörbaren Perzeption)

Begriffstragende Funktion: Ausdruck konkreter Begriffe, einen pro Einheit
Funktionskriterium: Ideo- und fonografisch

Beispiele

Regen 雨 , Feuer 火 , Feld 田 , Getreide 禾 , Tür 門 .

Gruppe 2: 指事 ZHI SHI, wörtlich: Anzeige/Sache

Struktur

Darstellung: Hinweisend, z.T. durch Striche und Punkte bewirkt
Konstellation: Monografisch
Piktografisches Ausmaß: Siehe Gruppe 1!
Strukturbedingter Inhaltsbezug: Siehe Gruppe 1!

Funktion

Lauttragende Funktion: Siehe Gruppe 1!
Begriffstragende Funktion: Ausdruck abstrakter Begriffe, einen pro Einheit
Funktionskriterium: Siehe Gruppe 1!

Beispiele

Ursprung 本 , Ende 末 , oben 上 , unten 下 , Mitte 中 .

Gruppe 3: 会意 HUI YI, wörtlich: Komposition/Bedeutung

Struktur

Darstellung: Kompositiv, zusammengesetzt aus Einheiten der Gruppen 1 und 2
Konstellation: Dia- und heterografisch

Piktografisches Ausmaß: Siehe Gruppe 1!
Strukturbedingter Inhaltsbezug: Siehe Gruppe 1!

Funktion

Lauttragende Funktion: Siehe Gruppe 1!
Begriffstragende Funktion: Ausdruck konkreter und abstrakter Begriffe, einen pro Einheit.
Funktionskriterium: Siehe Gruppe 1!

Beispiele

Hain 林 , Wald 森 , sammeln 集 , öffentlich [illegible] , Regel 法 .

Gruppe 4: 形声 XING SHENG, wörtlich: Form/Laut

Struktur

Darstellung: Siehe Gruppe 3!
Konstellation: Siehe Gruppe 3!
Piktografisches Ausmaß: Siehe Gruppe 1!
Strukturbedingter Inhaltsbezug: Siehe Gruppe 1!

Funktion

Lauttragende Funktion:
a) Tragen eines einsilbigen Lautes, der dem ursprünglichen Begriff, den das Zeichen verkörpert, zum Ausdruck dient. Dieser Laut ist gleichzeitig mit dem einer Komponenten des Zeichens identisch.

b) Siehe Gruppe 1!
c) Siehe Gruppe 1!
Begriffstragende Funktion: Siehe Gruppe 3!
Funktionskriterium: Siehe Gruppe 1!

Beispiele

Hören 聞 , fragen 問 , heiter/blau 晴 , kühl 凊 , Höhle 洞

Gruppe 5: 轉注 ZHUAN ZHU, wörtlich: wechseln/lenken

Struktur

Zeichen dieser Kategorie stammen ausschließlich aus den vorgenannten vier Gruppen. Ihre Strukturen entsprechen den Schrifteinheiten einer jener Ursprungsgruppen 1 bis 4.

Funktion

Lauttragende Funktion:
a) Tragen eines einsilbigen Lautes, der dem ursprünglichen Begriff, den das Zeichen verkörpert, zum Ausdruck dient. Dieser Laut ist gleichzeitig mit dem des neuen Begriffes, für den das Hanzeichen steht, identisch.
b) Siehe Gruppe 1!
c) Siehe Gruppe 1!
Begriffstragende Funktion: Gemäß Zeichenursprung der Gruppen 1 - 4
Funktionskriterium: Ideo- und fonografisch
Inhaltsbezug: Durch Inhaltswechsel kein Bezug

Hanzeichen der Gruppe 5 verkörperten einstmals Begriffe, deren Frequenz (Benutzungshäufigkeit) sehr niedrig war. Sie mußten daher die Ausdrucksfunktion der alten Bedeutung zugunsten einer neuen, öfters benutzten Begriffseinheit einstellen. Obwohl der Laut des neuen Begriffes mit dem des älteren identisch ist, bleibt die Struktur des Zeichens nur auf die alte Bedeutung bezogen. Der Ausdrucksinhalt wurde umgelenkt, bzw. gewechselt.

Beispiele

Neue Bedeutungen: 1. Affirmation 是, 2. Erste Person 我
3. Hinweisendes Fürwort 其, 4. Das Verb "kommen" 来 und 5. der Begriff "ost" 東.

Frühere Bedeutungen: 1. Schöpfkelle, 2. altes Kriegsgerät/Schlagwaffe, 3. Flachkorb aus Bambusgeflecht, 4. Getreideart und 5. Tragebündel mit durchgestecktem Stock

Gruppe 6: 假借 JIA JIE, wörtlich: falsch/borgen

Zeichen dieser Kategorie stammen ausschließlich aus den vorgenannten vier Gruppen. Ihre Strukturen entsprechen den Schrifteinheiten einer jener Ursprungsgruppen 1 bis 4.

Funktion
(Ursprüngliche Benutzung)

Lauttragende Funktion: Gemäß Zeichenursprung der Gruppen 1 bis 4
Begriffstragende Funktion: Ausdruck konkreter und abstrakter Begriffe einen pro Einheit
Funktionskriterium: Ideo- und fonografisch

Beispiele
(Ursprüngliche Benutzung)

Pferd 馬 , Fähigkeit 克 , denken 思 , Druck 印 , Grad/Ausmaß 度 , ungeschälter Reis 米 , eminent/erhaben 台 , kreuzen (von Armen) 叉 und Trockenmaß/Hohlmaß 斗 .

Erste Benutzung als Leihzeichen

Lauttragende Funktion:
a) Tragen eines einsilbigen Lautes, der zusammen mit weiteren eine später in den Begriffsschatz der chinesischen Sprache aufgenommene Bedeutung mehrsilbigen Lautes ausdrückt. Dieser Laut gleicht dem des ursprünglichen Begriffes, den das Zeichen verkörpert.
b) Tragen eines einsilbigen Lautes, der eine später in den Begriffsschatz der chinesischen Sprache aufgenommene Bedeutung ausdrückt. Dieser Laut ist mit dem des ursprünglichen Begriffes, den das Zeichen verkörpert, identisch.

Begriffstragende Funktion:
a) Ausdruck eines Silbenteils konkreter oder abstrakter, neu in den Begriffsschatz aufgenommener Bedeutungen mehrsilbigen Lautes.
b) Ausdruck einer konkreten oder abstrakten, neu in den Begriffsschatz aufge nommenen Bedeutung einsilbigen Lautes.
Funktionskriterium: nur fonografisch

Beispiele

Marx 馬克思 , Indien 印度 , Meter (Längenmaß) 米

Zweite Benutzung als Leihzeichen

Lauttragende Funktion:
Tragen eines einsilbigen Lautes, der dem des ursprünglichen Begriffes, den das

Zeichen verkörpert, wie dem eines substituierten Hanzeichens, gleich ist.
Begriffstragende Funktion:
Ausdruck eines Silbenteils konkreter oder abstrakter Begriffe mehrsilbiger Laute, dessen Hanzeichen wegen niedriger Frequenz und komplizierter Struktur substituiert wurde.
Funktionskriterium : nur fonografisch

Beispiele

台 als Plattform/Turm in der Bezeichnung für 臺灣 交

austauschen/wechseln in der Bezeichnung 交換 und 斗

als kämpfen in der Bezeichnung 鬭爭 .

Im Japanischen findet in zusammengesetzten Bedeutungen weiterer Austausch etwa der Zeichen 停 durch 定 wie 蜚 durch 飛 statt.

Das Postulat der Zeichenfunktion: "Eine Einheit trägt einen Begriff" ist bei den ersten fünf Gruppen erfüllt, während die Zeichen der 6. Gruppe mehr als eine Bedeutung tragen. Dieses entspricht nicht mehr den oben aufgestellten und erklärten Anforderungen einer ideografischen Funktion.

Nach der somit erfolgten Beantwortung der Frage: "welche?", wäre es interessant zu wissen, wieviele der Chinesischen Schriftzeichen ohne ideografische Funktion sind und damit mehr als einen Begriff zum Ausdruck bringen.

Es fällt dabei die kurz angedeutete Zweiteilung der JIA JIE-Einheiten ins Auge.
a) Leihzeichen zum Ausdruck neuer Begriffe und
b) Leihzeichen für vereinfachten Ausdruck.

Chinesische Naturwissenschaftler, die sich häufig mit ausländischer Fachliteratur im Original befassen, neigen dazu, Aufzeichnungen mit lateinischen Buchstaben vorzunehmen. Dennoch lassen sich im Anhang üblicher chinesischer Lexika (GUO YÜ CI DIAN, Bd. 4, Anhang S. 1- 30) rund 1800 Fremdbezeichnungen alphabetisch geordnet auffinden, deren Sequenz von Silbenlauten durch je ein Hanzeichen transskribiert wurde. Dazu gehören etwa Folgen von Chinesischen Schriftzeichen, die mit ihren Lauten jene Silbenlaute der Bedeutungen für Acetylen

阿西德林 Alexander 亞歷山大 Amazonas 亞馬孫

Berlin 柏林 Hamburg 漢堡 Samos 薩摩斯 Samoa 薩摩亞 Ideologie 意德沃羅基 Kant 康德 oder Ohm 歐姆 wiedergeben.

Ein zwanzigköpfiges Komitee leitet heute die lautliche Transskription aller neuen, für die Volksrepublik bedeutsamen Fremdbegriffe. Da für bestimmte Laute immer wieder die gleichen Hanzeichen Verwendung finden, muß man mit weit weniger als tausend Einheiten rechnen, deren Funktion nicht mehr ideografisch, sondern nur noch fonografisch ist.

Die Anzahl der Leihzeichen für vereinfachten Ausdruck ist überaus gering und liegt unter 100 Einheiten. Da der Laut der ausgeliehenen Hanzeichen nicht nur mit dem des substituierten gleich ist, sondern die Bedeutungen oft ähneln, ist in diesem Falle das ideografische Moment nicht vollends ausgelöscht.

Die Gruppe der JIA JIE-Zeichen findet solange weiterhin Existenzberechtigung, wie der grafisch sichtbare Ausdruck von neuen Begriffen durch bereits bestehende Hanzeichen erfolgt.

## Schrifttumsverzeichnis


GUO YÜ CI DIAN — Bd. 4, Anhang S. 1-30, Taipei, Taiwan, 1948, (Wörterbuch der Landessprache)

Hirsch, P. — Zur Genese der Taubstummengebärde, Heidelberg, 1961

Ichimura, S. — Tebanashi jiten, (Gebärdenlexikon), Tokio, 1963

Ichimura, S. — Ryokyoiku no tame no tekisuto, (Texte zur Ausbildung Tauber), Tokio, 1964

Kaneda, Y. — Nihon Tebanashi Zue, (Bildertafeln japanischer Gebärden), Tokio, 1962

Kümmel, P. — Die "Sechs-Schreibung" der chinesischen Schriftzeichen als Einführung in den Fragenkreis des willkürlichen Ausdrucks, GrKG 7/4, 1966, S. 109

Kümmel, P. — Transactions of the International Conference of Orientalists in Japan Nr. XII, Mai 1967 a

Kümmel, P. — Ideografie - Funktion des sichtbaren Ausdrucks, GrKG 8/2, 1967 b, S. 63

Maesse, H. — Ein Beitrag zur Frage der Gebärdeneinteilung, Leipzig/Frankfurt, 1937

Tüllmann, A. — Vergleichende Betrachtungen einiger typischer Gebärden urtümlicher Völker, Heidelberg, 1961

Vucotic M. — Lexikon internationaler Gebärden, Rom 1958

Eingegangen am 3. November 1967

Anschrift des Verfassers:
Dr. Peter Kümmel, Tokio, CPO-Box 1178

# ZUR RENTABILITÄTSGRENZE BEIM LERNEN

von Helmar Frank und Brigitte Frank-Böhringer, Berlin

## 1. Problemstellung

Im Rahmen der kybernetischen Pädagogik erscheint das Lehrziel Z als eine willkürlich von außen eingegebene didaktische Variable (Frank, 1966 a). Diese Variable ist auf der Ebene der Organisationskybernetik (Frank, 1966 b) keine Urentscheidung (Kapitänsentscheidung) mehr, sondern kann - z. B. durch eine Extremalbetrachtung - aus übergeordneten Forderungen quantitativ hergeleitet werden (ist also eine Lotsenentscheidung). Dieser allgemeine Ansatz wird am Modellfall der formalen Didaktik ALZUDI 1 (Frank, 1967, Frank und Graf, 1967) durchgerechnet.

## 2. Ansatz

Der Sinn des Lernens von Zuordnungen (Formeln, Telephonnummern, Vokabeln, Preise usw.), von Problemlösungsalgorithmen (Wurzelziehen, Kochen, Buchhaltung u. a.) und von heuristischen Verfahren (Übersetzen etc.) besteht in der Minimalisierung des während der späteren Anwendungen insgesamt erforderlichen Zeitaufwands F. Einerseits kostet aber das Lernen selbst eine Zeit L, andererseits kann auch der Ungeschulte mit genügendem Zeitaufwand U diese Nachrichtenverarbeitungsprozesse meistern. Er kann die Zuordnungen aus Nachschlagewerken entnehmen, die Algorithmen nach einer schriftlichen Anweisung schrittweise durchführen - oder er kann damit ebenso wie mit heuristischen Problemen einen Fachmann beauftragen. Auch im letzteren Falle kann der Aufwand als Zeitaufwand U gemessen werden, nämlich für das Finden eines Fachmanns und für das Erbringen einer geforderten Gegenleistung.

Wir stellen nun die organisationskybernetische Maxime auf:
(I) Es soll nur soviel gelernt werden, daß der nach Abschluß des Lernens bei den künftigen Anwendungen zu erwartende Zeitgewinn $\Gamma = U - F$ größer ist als die zum Lernen aufgewandte Zeit L!

Gefordert wird damit:

(1) $$\Gamma = U - F \geqq L$$

L hängt dabei von der geforderten Wahrscheinlichkeit $p^{soll}$ des Lernerfolgs ab, ferner von der Vorkenntniswahrscheinlichkeit $\varkappa \cdot p^{soll}$ $(0 \leqq \varkappa < 1)$ und von der Lerngeschwindigkeit C:

(2) $$L = L(p^{soll}, \varkappa, C)$$

Der zu erwartende Zeitaufwand für alle künftigen Anwendungen hängt von der voraussichtlichen Häufigkeit N der Anwendungsmöglichkeiten aber auch von der Wahrscheinlichkeit q ab, mit welcher der Mensch, der die betreffende Aufgabe zu bewältigen hat, tatsächlich über den erforderlichen Lehrstoff verfügt. Für den Ungeschulten ist $q = \mathcal{X} \cdot p^{soll}$, für den Fachmann, der das Lehrziel exakt erreicht (und mit Sicherheit nichts vergessen) hat, ist $q = p^{soll}$. Daher gilt allgemein:

(3 a) $$U = U(N, \mathcal{X} \cdot p^{soll})$$

(3 b) $$F = F(N, p^{soll})$$

Wir stellen nun eine zweite organisationskybernetische Maxime auf:

(II) Sofern überhaupt $\Gamma > L$ erreichbar ist, soll das Lehrziel $p^{soll}$ so festgesetzt werden, daß der Erwartungswert des durch den Lehrprozeß zu bewirkenden Zeitgewinns abzüglich der Lernzeit maximal wird!

Gefordert wird damit

(4) $$\frac{d}{d\,p^{soll}}(U - F - L) = 0$$

Unsere beiden Maximen können allgemein für jede Didaktik erhoben werden.

## 3. Konkretisierung auf die formale Didaktik ALZUDI 1

Wir spezialisieren nun den allgemeinen Ansatz, indem wir zunächst L proportional der Wiederholungszahl x bei einem ALZUDI 1 - Lehrprogramm setzen. Diese berechnet sich (Frank, 1966 a) zu:

(5) $$x = {}^{0,87}\log \frac{1 - p^{soll}}{1 - \mathcal{X} \cdot p^{soll}}$$

Aus den durchschnittlichen Durcharbeitungsgeschwindigkeiten von ALZUDI - Lehrprogrammen kann man auf einen Zeitbedarf von c = 10 sec (bis maximal etwa 15 sec) pro Wiederholung schließen. Damit erhält man statt (2) die spezielle Gleichung

(6) $$L = c \cdot {}^{0,87}\log \frac{1 - p^{soll}}{1 - \mathcal{X} \cdot p^{soll}}$$



Bild 1 stellt x und L als Funktion von $\varkappa$ und von $p^{soll}$ dar.

Bild 1

Bei der Bestimmung der Erwartungswerte F und U gehen wir von der vereinfachenden Annahme aus, daß bei jedem einzelnen Anwendungsfall von etwas Gelerntem bzw. von etwas Nichtgelerntem der erforderliche Zeitaufwand stets gleich groß, nämlich $\alpha_F$ bzw. $\alpha_U$ ist. Wir setzen im Rahmen unserer einfachen Modellbetrachtung weiterhin voraus, daß bei noch so vielen Anwendungen eines nicht gelernten Stoffes dieser nicht "nebenbei" gelernt wird. Dann berechnet sich der Erwartungswert z = F bzw. z = U aus folgendem Feld

$$z = \begin{pmatrix} N \cdot \alpha_U & N \cdot \alpha_F \\ 1-q & q \end{pmatrix}$$

zu

(7) $$\mathcal{M}(z) = N \cdot \alpha_U (1 - q) + N \cdot \alpha_F \cdot q$$

Mit den schon genannten Einsetzungen für q erhält man daraus die Erwartungswerte

(7 a) $$U = N(\alpha_U(1 - \varkappa \cdot p^{soll}) + \alpha_F \cdot \varkappa \cdot p^{soll})$$

(7 b) $$F = N(\alpha_U(1 - p^{soll}) + \alpha_F \cdot p^{soll})$$

(8) $$\Gamma = U - F = N(\alpha_U - \alpha_F)(1 - \varkappa)\, p^{soll}$$

Setzt man $\alpha_U - \alpha_F = \gamma$, so lautet die Bedingung (1) nach beiderseitiger Division durch $(1 - \varkappa)$:

(9) $$N \cdot \gamma \cdot p^{soll} \gtrless \frac{c}{1 - \varkappa} \cdot {}^{0,87}\log \frac{1 - p^{soll}}{1 - \varkappa \cdot p^{soll}}$$

Bild 2 stellt die linke und die rechte Seite dieser Ungleichung je als Schar von Funktionen von $p^{soll}$ dar, wobei der Parameter im einen Falle $N \cdot \gamma$, im anderen Falle $\varkappa$ ist. Für jedes Wertepaar dieser Parameter erhält man unter einer noch zu erörternden Voraussetzung einen Schnittpunkt, dessen Abszisse der höchste $p^{soll}$-Wert ist, für den das Lernen noch nicht unrentabel ist. Die rechte Seite der Ungleichung stellt eine Kurvenschar durch den Nullpunkt dar, die dort eine gemeinsame Tangente mit der Steigung $m = -\frac{c}{\ln 0,87} \approx 71,8$ hat. Folglich ist die Gerade $N \cdot \gamma \cdot p^{soll} = m$ aus der zweiten Kurvenschar die (nur von c abhängige) Rentabilitätsgrenze.

Um nun oberhalb dieser Rentabilitätsgrenze auch die Maxime II zu befriedigen, suchen wir in Bild 2 für vorgegebenes $N \cdot \gamma$ und vorgegebenes $\varkappa$ die Stelle maximaler Ordinatendifferenz zwischen den beiden zugehörigen Kurven, das heißt wir wenden Gleichung (4) an. Nach Multiplikation mit $(1 - p^{soll})$ erhält man

(10) $$N \cdot \gamma \cdot (1 - p^{soll}) = -\frac{c}{\ln 0,87\,(1 - \varkappa \cdot p^{soll})}$$

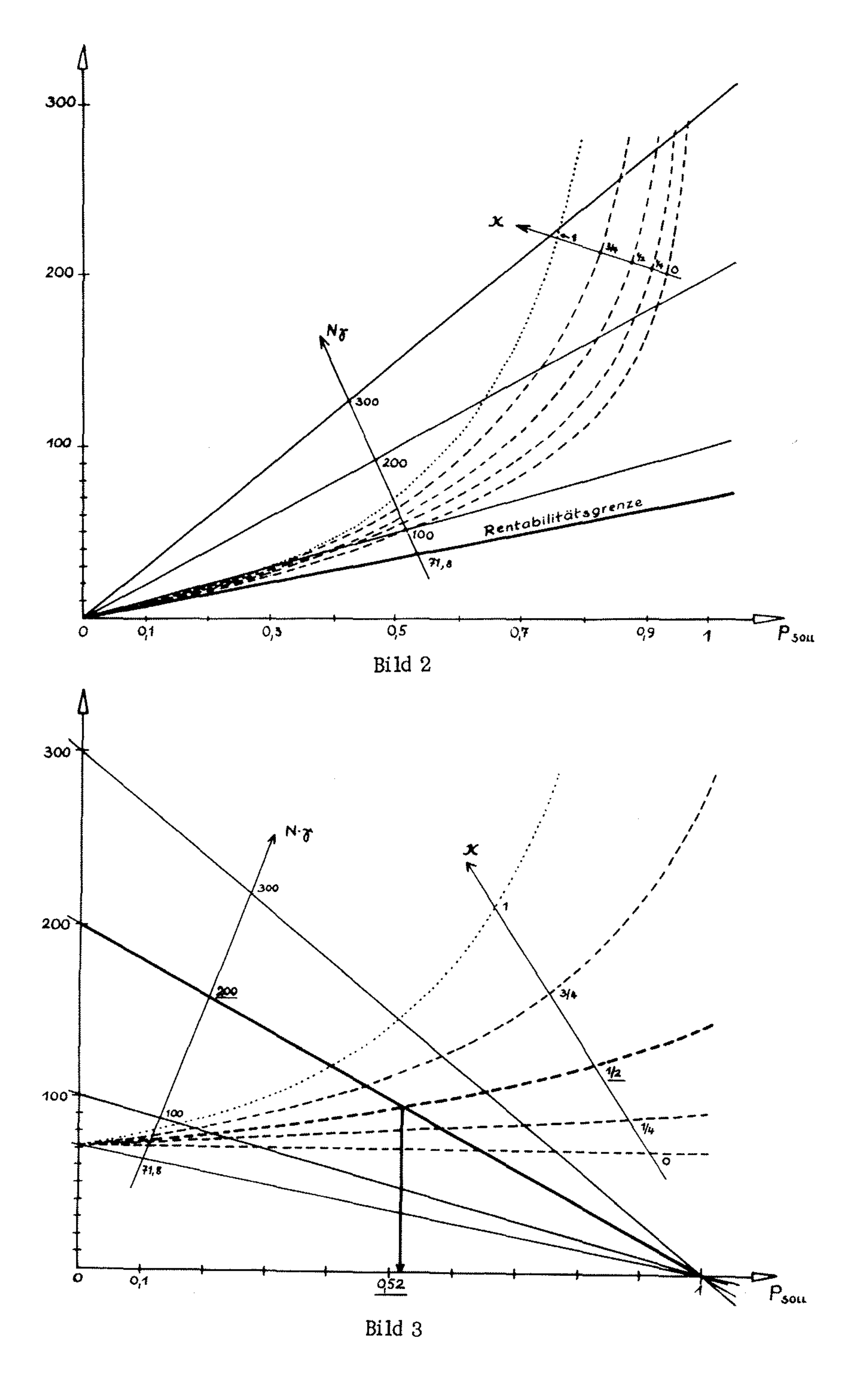

300
200
100
0
0,1
0,3
0,5
0,7
0,9
1
P soll
Nγ
300
200
100
71,8
x
Rentabilitätsgrenze


Bild 2

300
200
100
0
0,1
0,52
1
P soll
N·γ
300
200
100
71,8
x
1
3/4
1/2
1/4
0


Bild 3

Der im Sinne von Maxime II optimale Wert $p^{soll}$ ergibt sich als Abszisse des Schnittpunkts je einer Kurve der durch die linke bzw. die rechte Seite von (10) bestimmten Schar. Als Beispiel (fett ausgezogen) ist in Bild 3 (für c = 10 sec) eingetragen:
$N \cdot \Upsilon = 200$ sec, $\mathcal{K} = 1/2$, optimaler Sollwert 0,52. Wie bei Bild 2 ist die Grenzfunktion mit dem Parameter $\mathcal{K} = 1$ zur Verdeutlichung des Spielraums eingezeichnet.

Interessant ist der aus Bild 2 wie aus Bild 3 ablesbare, mindestens für unser Modell gültige Sachverhalt: Es lohnt sich desto weniger, einen hohen Sollwert anzustreben, je höher der Vorkenntnisstand ist, obwohl bei höherem Vorkenntnisstand der weitere Lernaufwand kleiner ist.

Schrifttumsverzeichnis

| | |
|---|---|
| Frank, Helmar | Ansätze zum algorithmischen Lehralgorithmieren (Anhang 8.5) in: Frank, H. (Hsg.): Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht 4, Klett, Stuttgart, und Oldenbourg, München, 1966 a |
| Frank, Helmar | Programmatische Notiz zur Organisationskybernetik, GrKG 7/3, 1966 b, S. 79 |
| Frank, Helmar | Zur Objektivierbarkeit der Didaktik, in: pl, programmiertes lernen und programmierter unterricht 1/1967, S. 1 |
| Frank, Helmar<br>Graf, Klaus D. | ALZUDI - Beispiel einer formalen Didaktik, in: ZeF, Zeitschrift für erziehungswissenschaftliche Forschung, 1967, Heft 1, S. 27 |

Eingegangen am 4. Mai 1968

Anschrift der Verfasser:
1 Berlin 33, Altensteinstr. 39

# TEXTCHARAKTERISTIKEN LATEINISCHER HISTORISCHER BERICHTE, RHETORIKEN UND DRAMEN

von Joachim Thiele, Uetersen

## I. Charakteristiken von Caesars ´De Bello Gallico´ und ´De Bello Civili´, Ciceros ´De Inventione´ und der Schrift ´Ad Herennium´.

In den folgenden Tabellen sind die mittlere Satzlänge $\bar{j}$, die mittlere Silbenzahl pro Wort $\bar{i}$ und die mittlere Länge der Ketten aus gleichsilbigen Wörtern $\bar{r}$ für ausgewählte Abschnitte aus den Kommentaren Caesars und zwei lateinischen Rhetoriken genannt. (Die Bestimmung der Satzlänge erfolgte bei den Texten Caesars nach der Einteilung in der Ausgabe C. Nipperdeys, bei den anderen Texten wurden die Zeichen . und ? in den benutzten Ausgaben als Satzgrenzen angesehen.)

Diese Zählungen sind, ebenso wie die unter II. gegebenen Daten, als Vorarbeiten für größere, nur mit Maschinen auszuführende Untersuchungen gedacht, die das Gesamtwerk der wichtigsten klassischen Autoren auf formale Eigentümlichkeiten hin zu analysieren hätten.

Es zeigte sich, daß das dem A. Hirtius zugeschriebene 8. Buch von ´De Bello Gallico´ $\bar{i}$-Werte aufweist, die von denen der Bücher 1 bis 4 deutlich verschieden sind.

| | N | $\bar{j}$ | $\bar{i}$ | $\bar{r}$ |
|---|---|---|---|---|
| CAESAR | | | | |
| De Bello Gallico [1] | | | | |
| I,1 - 4,2 (+ | 541 | 23,5 | 2,55 | 1,26 |
| I,12 - 14,7 | 505 | 24,0 | 2,48 | 1,25 |
| I,16,1 - 18,9 | 420 | 21,0 | 2,50 | 1,27 |
| II,25,1 - 28,2 | 454 | 30,3 | 2,57 | 1,29 |
| III,5 - 8,5 | 472 | 24,8 | 2,55 | 1,33 |
| IV,1 - 4,3 | 447 | 19,4 | 2,42 | 1,26 |
| IV,10 - 13 | 527 | 22,9 | 2,55 | |
| IV,16 - 18 | 463 | 21,0 | 2,68 | |
| IV,22 - 25,4 | 545 | 27,2 | 2,50 | |
| IV,30 - 34 | 532 | 28,0 | 2,48 | |

(+ Buch, Kapitel, Satz in der Ausgabe [1]

N = Anzahl der Wörter des Textabschnitts

Fortsetzung von De Bello Gallico [1]

| | N | $\bar{j}$ | $\bar{i}$ | $\bar{r}$ |
|---|---|---|---|---|
| V, 1 - 3, 5 | 425 | 23, 6 | 2, 62 | 1, 26 |
| VI, 1 - 5, 3 | 439 | 20, 0 | 2, 69 | 1, 20 |
| VII, 1 - 4, 5 | 434 | 24, 1 | 2, 68 | 1, 27 |
| VII, 14 - 17 | 537 | 19, 9 | 2, 74 | |
| VII, 22 - 25 | 477 | 25, 1 | 2, 62 | |
| VII, 32 - 36, 1 | 552 | 29, 0 | 2, 63 | |
| VII, 42 - 45 | 506 | 19, 5 | 2, 62 | |
| VII, 57 - 61, 3 | 469 | 20, 4 | 2, 74 | |
| VII, 69 - 72 | 448 | 16, 6 | 2, 66 | |
| VII, 79 - 82 | 509 | 22, 1 | 2, 62 | |
| | Mittel- | 23, 1 | 2, 60 | 1, 26 |
| | werte (° | ± 3, 7 | ± 0, 09 | ± 0, 03 |
| VIII, 1 - 3, 4 | 485 | 27, 0 | 2, 72 | 1, 29 |
| VIII, 9 - 12, 9 | 438 | 29, 2 | 2, 79 | 1, 28 |
| VIII, 24 - 27, 4 | 437 | 31, 2 | 2, 67 | 1, 26 |
| VIII, 48 - 50, 4 | 437 | 24, 2 | 2, 70 | 1, 29 |
| | | 27, 9 | 2, 72 | 1, 28 |
| | | ± 3, 7 | ± 0, 05 | ± 0, 01 |

De Bello Civili [1]

| | N | $\bar{j}$ | $\bar{i}$ | $\bar{r}$ |
|---|---|---|---|---|
| I, 1 - 4, 2 (+ | 433 | 20, 6 | 2, 62 | 1, 23 |
| I, 15 - 18, 4 | 423 | 22, 3 | 2, 68 | |
| II, 1 - 4 | 396 | 22, 0 | 2, 68 | 1, 23 |
| II, 17 - 19 | 466 | 31, 1 | 2, 64 | |
| III, 1 - 4, 2 | 370 | 28, 5 | 2, 74 | 1, 23 |
| III, 15 - 17, 4 | 424 | 25, 0 | 2, 48 | |
| III, 41 - 43 | 391 | 28, 0 | 2, 67 | 1, 28 |
| III, 59 - 61 | 394 | 32, 8 | 2, 55 | |
| III, 78 - 79 | 391 | 30, 0 | 2, 70 | |
| III, 100 - 102, 1 | 381 | 31, 8 | 2, 58 | 1, 23 |
| | | 27, 2 | 2, 63 | 1, 24 |
| | | ± 4, 9 | ± 0, 07 | ± 0, 01 |

(° in den angegebenen Intervallen liegen jeweils ~ 75 % der Werte

(+ Buch, Kapitel, Satz in der Ausgabe [1]

| CICERO De Inventione [ 2 ] | N | $\bar{j}$ | $\bar{i}$ | $\bar{r}$ |
|---|---|---|---|---|
| I 2,1 - 8,22 (o | 603 | 31,8 | 2,57 | 1,29 |
| 36,4 - 42,1 | 499 | 21,7 | 2,48 | |
| 60,4 - 64,15 | 466 | 20,3 | 2,36 | 1,37 |
| 78,3 - 82,22 | 482 | 19,3 | 2,30 | |
| 102,25 - 108,14 | 528 | 19,6 | 2,54 | |
| 124,19 - 130,4 | 493 | 26,0 | 2,33 | |
| II 166 - 170,21 | 482 | 24,2 | 2,54 | 1,27 |
| 212,18 - 218,8 | 493 | 20,8 | 2,48 | |
| 248,14 - 254,2 | 476 | 23,8 | 2,30 | |
| 284,7 - 288,17 | 475 | 26,4 | 2,38 | 1,32 |
| 312,5 - 316,15 | 447 | 29,8 | 2,30 | |
| 340,10 - 344,21 | 447 | 24,8 | 2,34 | |
| | | 24,0 | 2,41 | 1,31 |
| | | ± 4,7 | ± 0,11 | ± 0,04 |

| AD HERENNIUM [ 3 ] | N | $\bar{j}$ | $\bar{i}$ | $\bar{r}$ |
|---|---|---|---|---|
| I 192,11 - 195,10 (o | 530 | 28,0 | 2,47 | 1,24 |
| 195,19 - 198,15 | 557 | 27,8 | 2,38 | |
| 201,1 - 203,22 | 442 | 14,3 | 2,56 | |
| II 209,1 - 213,17 | 690 | 23,8 | 2,60 | 1,25 |
| 216,1 - 218,19 | 519 | 24,8 | 2,48 | |
| 228,8 - 231,3 | 500 | 20,8 | 2,41 | |
| III 255,1 - 258,21 | 573 | 20,5 | 2,62 | 1,31 |
| 267,1 - 270,4 | 544 | 24,8 | 2,60 | |
| 283,6 - 286,10 | 541 | 28,5 | 2,50 | |
| IV 288,1 - 291,3 | 531 | 23,1 | 2,31 | 1,31 |
| 299,5 - 301,21 | 507 | 22,0 | 2,50 | |
| V 312,12 - 315,11 | 448 | 13,2 | 2,45 | 1,31 |
| 323,9 - 326,18 | 495 | 13,0 | 2,44 | |
| 347,1 - 350,10 | 503 | 19,4 | 2,55 | |
| 368,18 - 371,20 | 521 | 16,8 | 2,38 | |
| | | 21,4 | 2,48 | 1,28 |
| | | ± 7,1 | ± 0,10 | ± 0,03 |

(o Seite, Zeile der Ausgaben [ 2 ] bzw. [ 3 ]

II. Charakteristiken einiger Dramen des Plautus und des Seneca

| PLAUTUS [4] | | | | N | $\bar{i}$ | $\bar{r}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Amphitruo | | | | | | |
| Vers 1 | - | 49 | Prolog | 311 | 2,15 | 1,30 |
| 50 | - | 99 | Prolog | 307 | 2,24 | 1,22 |
| 100 | - | 152 | Prolog | 362 | 2,08 | 1,36 |
| 153 | - | 194 | | 398 | 2,23 | 1,35 |
| 195 | - | 243 | | 342 | 2,36 | 1,39 |
| 244 | - | 321 | | 360 | 2,21 | 1,33 |
| 463 | - | 520 | | 392 | 2,22 | 1,34 |
| 813 | - | 860 | | 417 | 2,02 | 1,39 |
| 1090 | - | 1143 | | 398 | 2,30 | 1,45 |
| | | | | | 2,20 | 1,35 |
| | | | | | ±0,10 | ±0,06 |
| Poenulus | | | | | | |
| 1 | - | 61 | Prolog | 362 | 2,27 | 1,31 |
| 62 | - | 128 | Prolog | 466 | 2,26 | 1,31 |
| 192 | - | 247 | | 327 | 2,21 | 1,29 |
| 435 | - | 494 | | 372 | 2,21 | 1,39 |
| 504 | - | 562 | | 451 | 2,18 | 1,35 |
| 1338 | - | 1397 | | 402 | 2,08 | 1,34 |
| 1398 | - | 1422 | | 231 | 2,02 | 1,36 |
| | | | | | 2,18 | 1,34 |
| | | | | | ±0,10 | ±0,03 |
| Menaechmi | | | | | | |
| 1 | - | 36 | Prolog | 209 | 2,38 | 1,37 |
| 37 | - | 76 | Prolog | 254 | 2,33 | 1,32 |
| 77 | - | 119 | | 290 | 2,18 | 1,39 |
| 449 | - | 496 | | 333 | 2,22 | 1,48 |
| 559 | - | 601 | | 307 | 2,15 | 1,40 |
| | | | | | 2,25 | 1,39 |
| | | | | | ±0,10 | ±0,07 |

PLAUTUS [ 4 ]

Cistellaria

| | | | | N | $\bar{i}$ | $\bar{r}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Vers | 1 | - | 50 | 382 | 2,14 | 1,35 |
| | 98 | - | 148 | 407 | 2,12 | 1,50 |
| | 149 | - | 202 | 339 | 2,27 | 1,30 |
| | 203 | - | 250 | 312 | 2,18 | 1,36 |
| | 536 | - | 598 | 426 | 2,19 | 1,30 |
| | 653 | - | 704 | 447 | 2,04 | 1,40 |
| | | | | | 2,16 | 1,37 |
| | | | | | ± 0,08 | ± 0,07 |

Bacchides

| | | | | N | $\bar{i}$ | $\bar{r}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 170 | - | 229 | 393 | 2,16 | 1,45 |
| | 368 | - | 413 | 363 | 2,22 | 1,36 |
| | 574 | - | 629 | 415 | 2,22 | 1,41 |
| | 854 | - | 912 | 416 | 2,07 | 1,35 |
| | 925 | - | 974 | 346 | 2,26 | 1,35 |
| | 976 | - | 999 | 198 | 2,06 | 1,51 |
| | 1000 | - | 1035 | 251 | 2,02 | 1,44 |
| | 1036 | - | 1062 | 197 | 2,06 | 1,36 |
| | 1130 | - | 1169 | 365 | 1,99 | 1,34 |
| | | | | | 2,12 | 1,40 |
| | | | | | ± 0,10 | ± 0,06 |

SENECA [5]

Hercules Oetaeus

| Vers | N | $\bar{j}$ | $\bar{i}$ | $\bar{r}$ |
|---|---|---|---|---|
| 104 - 172 | 359 | 20,0 | 2,28 | 1,31 |
| 278 - 331 | 323 | 14,0 | 2,16 | 1,38 |
| 485 - 549 | 381 | 19,1 | 2,20 | 1,43 |
| 583 - 667 | 378 | 18,0 | 2,22 | 1,40 |
| 934 - 996 | 384 | 13,7 | 2,14 | 1,34 |
| | | 17,0 | 2,20 | 1,37 |
| | | ± 3,0 | ± 0,06 | ± 0,05 |

Thyestes

| | N | $\bar{j}$ | $\bar{i}$ | $\bar{r}$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 - 50 | 295 | 22,7 | 2,22 | 1,37 |
| 151 - 214 | 360 | 15,6 | 2,25 | 1,40 |
| 336 - 420 | 355 | 25,4 | 2,16 | 1,32 |
| 546 - 622 | 365 | 22,8 | 2,28 | 1,39 |
| 750 - 812 | 339 | 14,7 | 2,27 | 1,35 |
| | | 20,3 | 2,24 | 1,37 |
| | | ± 5,1 | ± 0,05 | ± 0,03 |

Agamemnon

| | N | $\bar{j}$ | $\bar{i}$ | $\bar{r}$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 - 56 | 325 | 15,0 | 2,19 | 1,52 |
| 162 - 225 | 375 | 13,9 | 2,25 | 1,29 |
| 456 - 527 | 429 | 14,8 | 2,18 | 1,42 |
| 659 - 758 | 362 | 15,1 | 2,28 | 1,34 |
| 867 - 924 | 334 | 13,4 | 2,28 | 1,42 |
| | | 14,4 | 2,24 | 1,40 |
| | | ± 0,7 | ± 0,05 | ± 0,08 |

Phoenissae

| | N | $\bar{j}$ | $\bar{i}$ | $\bar{r}$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 - 50 | 300 | 15,8 | 2,19 | 1,40 |
| 80 - 139 | 362 | 12,5 | 2,16 | 1,39 |
| 231 - 294 | 381 | 14,6 | 2,24 | 1,39 |
| 363 - 419 | 347 | 15,8 | 2,20 | 1,33 |
| 500 - 557 | 357 | 18,8 | 2,13 | 1,35 |
| | | 15,5 | 2,18 | 1,37 |
| | | ± 3,0 | ± 0,05 | ± 0,03 |

| SENECA [5] | N | $\bar{j}$ | $\bar{i}$ | $\bar{r}$ |
|---|---|---|---|---|
| Medea | | | | |
| Vers 1 - 55 | 306 | 15,3 | 2,30 | 1,44 |
| 56 - 115 | 275 | 17,2 | 2,42 | 1,57 |
| 116 - 160 | 264 | 12,0 | 2,25 | 1,36 |
| 236 - 280 | 262 | 13,8 | 2,26 | 1,51 |
| 301 - 379 | 331 | 20,7 | 2,31 | 1,37 |
| 396 - 476 | 448 | 9,1 | 2,32 | 1,43 |
| 579 - 669 | 382 | 19,1 | 2,40 | 1,41 |
| 670 - 739 | 392 | 19,6 | 2,34 | 1,36 |
| 752 - 842 | 415 | 18,0 | 2,31 | 1,36 |
| 893 - 977 | 506 | 10,5 | 2,20 | 1,33 |
| | | 15,5 | 2,31 | 1,41 |
| | | ± 4,1 | ± 0,07 | ± 0,08 |
| Hercules Furens | | | | |
| 1 - 63 | 363 | 20,2 | 2,25 | 1,37 |
| 205 - 267 | 359 | 18,0 | 2,32 | 1,39 |
| 895 - 938 | 243 | 17,2 | 2,28 | 1,41 |
| 939 - 1002 | 362 | 11,1 | 2,26 | 1,35 |
| 1054 - 1137 | 360 | 27,7 | 2,26 | 1,41 |
| 1138 - 1186 | 287 | 10,3 | 2,18 | 1,43 |
| | | 17,4 | 2,26 | 1,39 |
| | | ± 6,4 | ± 0,05 | ± 0,04 |
| Octavia | | | | |
| 1 - 71 | 324 | 20,2 | 2,28 | 1,37 |
| 100 - 173 | 431 | 23,9 | 2,29 | 1,46 |
| 196 - 269 | 381 | 25,4 | 2,30 | 1,40 |
| 273 - 360 | 370 | 16,8 | 2,28 | 1,33 |
| 377 - 437 | 341 | 31,0 | 2,26 | 1,46 |
| 462 - 532 | 402 | 21,2 | 2,28 | 1,47 |
| 593 - 645 (606 - 631) | 296 (138) | 22,8 | 2,32 (2,42) | 1,46 |
| 690 - 761 | 400 | 17,6 | 2,29 | 1,38 |
| 792 - 845 | 288 | 19,2 | 2,27 | 1,42 |
| 877 - 983 | 465 | 14,1 | 2,19 | 1,38 |
| | | 21,2 | 2,28 | 1,41 |
| | | ± 4,8 | ± 0,03 | ± 0,05 |

## III. Entsprechungen zwischen Charakteristikenwerten und inhaltlicher Charakterisierung

Nach den ersten Veröffentlichungen von Wilhelm Fucks mit Vorschlägen zur numerischen Charakterisierung formaler Eigenschaften von Texten hat es an Versuchen, weitere Textcharakteristiken anzugeben und deren praktischen Wert nachzuweisen nicht gefehlt. Entsprechungen zwischen den Zahlen- und inhaltlichen Charakteristiken einzelner Textabschnitte aufzuzeigen, ist bisher jedoch nicht unternommen worden.

Im folgenden sind die $\bar{i}$- und $\bar{r}$-Werte einiger Abschnitte aus Dramen Senecas und Plautus´ und deren kurze verbale Kennzeichnung durch Altphilologen, die die numerischen Daten nicht kannten, gegenübergestellt.

Ich danke Herrn Prof. Dr. G. Maurach, z. Z. Pretoria, und Herrn Dr. B. Seidensticker, Hamburg, für ihre Hilfe bei dieser Arbeit.

| PLAUTUS | $\bar{i}$ | $\bar{r}$ | |
|---|---|---|---|
| Amphitruo | | | |
| Vers 195 - 243 | 2,36 | 1,39 | Schlachtbericht in episch-schwerem Stil |
| 244 - 321 | 2,21 | 1,33 | Dialog ohne besonderen Affekt |
| 813 - 860 | 2,02 | 1,39 | Erregter Dialog |
| 1090 - 1143 | 2,30 | 1,45 | Bericht in getragener Sprache (in Dialogform) |
| Bacchides | | | |
| 854 - 912 | 2,07 | 1,35 | Erregter Dialog |
| 925 - 974 | 2,26 | 1,35 | Gespreizte Arie |
| 976 - 1062 | 2,04 | 1,43 | Erregter Dialog |
| 1130 - 1169 | 1,99 | 1,34 | Heftige Spottrede, erregtes Gespräch |
| SENECA | | | |
| Hercules Oetaeus | | | |
| 104 - 172 | 2,28 | 1,31 | Klagelied der Gefangenen |
| 278 - 331 | 2,16 | 1,38 | erregter Dialog |
| 583 - 667 | 2,22 | 1,40 | Chorlied, ruhig-sententiös |
| 934 - 996 | 2,14 | 1,34 | erregte Rede |

Schrifttumsverzeichnis

[1] Caesar — C. IVLII CAESARIS Commentarii cum supplementis A. Hirtii et aliorum .., ed. Carolus Nipperdeius. Lipsiae 1847

[2] Cicero — De Inventione ... With an English transl. by H. M. Hubbell. Cambridge/Mass. ... 1949. (Loeb Classical Library Vol. 386)

[3] Marx, Friedrich (Ed.) — Incerti Auctoris de ratione dicendi AD C. HERENNIUM LIBRI IV. < M. Tulli Ciceronis ad Herennium Libri VI > edidit Fridericus Marx. Lipsiae 1894

[4] Plautus — [ Plays ], with an English transl. by Paul Nixon. Vol. 1, 2, 4. London... 1956, 1959. (Loeb Classical Library Vol. 60, 61, 260)

[5] Seneca — Seneca´s Tragedies, with an English transl. by Frank Justus Miller. Vol. 1, 2. London 1953. (Loeb Classical Library Vol. 62, 78)

Eingegangen am 12. Juni 1968

Anschrift des Verfassers:
Dr. Dr. Joachim Thiele, 2082 Uetersen, Herderstr. 1

ZUR FORMALISIERUNG VON LERNBEGRIFFEN (V)

- Zum Begriff der optimalen Prognosefähigkeit -

von Karl Eckel, Frankfurt/Main

## 1. Vorbemerkung

In dem Beitrag 'Zur Formalisierung von Lernbegriffen (III)' (Eckel, 1966 a) wurde als Hauptanliegen einer Lernwissenschaft folgendes angegeben:

(A) Das Anfangsverhalten einer Adressatengesamtheit, auf die ein (Unterrichts-) Programm einwirkt, so zu beschreiben, daß das Endverhalten der Adressaten vorausgesagt werden kann.
(Bereits an anderer Stelle (Eckel, 1965) wurde darauf hingewiesen, daß der Terminus 'Programm' in unserer Sprechweise sehr allgemein zu verstehen ist: als etwas, was auf eine Adressatengesamtheit einwirkt; z.B. ein Unterrichtsprogramm, eine Reklamesendung im Fernsehen, eine Ohrfeige, eine medizinische Therapie usw.)

Wir wollen dieses etwas vage und wohl auch zu wenig fordernde Postulat jetzt verschärfen:

(B) Die Beschreibung des Anfangsverhaltens soll derart erfolgen, daß das Endververhalten möglichst gut vorausgesagt (prognostiziert) werden kann. -

Während das Postulat (A) lediglich die Existenz einer Matrix von Übergangswahrscheinlichkeiten $\{ E_{ij} \}$ verlangt (Eckel, 1967), impliziert (B) weitergehende Forderungen; diese sind Gegenstand dieses Beitrags.

## 2. Zur Prognosefähigkeit von Anfangszuständen ($z_j$)

### 2.1 Prognosefähigkeit $\hat{P}$ für die Zufallstichprobe

Ein Anfangszustand - z.B. die richtige Beantwortung einer Frage des Anfangstests - ist um so 'prognosefähiger' desto besser er das auf dem Endzustandssystem beschriebene Endverhalten determiniert (Eckel, 1968). Zur Erläuterung diene ein Beispiel: $f_1$ und $f_2$ seien zwei Fragen des Anfangstests. Wir erhalten unter anderem folgende Anfangszustände:

$z_1 = f_1^{(+)}$: Falsche Beantwortung der 1. Frage

$z_2 = f_1^{(-)}$: Richtige Beantwortung der 1. Frage

$z_3 = f_2^{(+)}$: Falsche Beantwortung der 2. Frage

$z_4 = f_2^{(-)}$: Richtige Beantwortung der 2. Frage

Das vollständige Endzustandssystem bestehe aus den Endzuständen $z_1'$ und $z_2'$. Die zu $z_1$ bis $z_4$ gehörigen Spalten der $\hat{E}$-Matrix (Matrix von Übergangshäufigkeiten) mögen folgende Form haben:

| | $z_1$ |
|---|---|
| $z_1'$ | $\hat{E}_{11} = 0$ |
| $z_2'$ | $\hat{E}_{21} = 1$ |

| | $z_2$ |
|---|---|
| $z_1'$ | $\hat{E}_{12} = \frac{1}{2}$ |
| $z_2'$ | $\hat{E}_{22} = \frac{1}{2}$ |

| | $z_3$ |
|---|---|
| $z_1'$ | $\hat{E}_{13} = \frac{1}{2}$ |
| $z_2'$ | $\hat{E}_{23} = \frac{1}{2}$ |

| | $z_4$ |
|---|---|
| $z_1'$ | $\hat{E}_{14} = 1$ |
| $z_2'$ | $\hat{E}_{24} = 0$ |

$$\hat{E}_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_j}$$

$$i = 1, 2, 3, \ldots, s';$$
$$j = 1, 2, 3, \ldots, s.$$

$n_j$: Anzahl der Adressaten, die im Anfangszustand $z_j$ sind.

$n_{ij}$: Anzahl der Adressaten, die im Anfangszustand $z_j$ und im Endzustand $z_i'$ sind.

Das $\wedge$ in $\hat{E}_{ij}$ gibt an, daß es sich um eine Größe handelt, die aus einer Stichprobe ermittelt wurde. - Die durch $z_1$ und $z_4$ beschriebenen Verhaltensweisen determinieren das Endverhalten der betreffenden $n_1$ bzw. $n_4$ Adressaten (der insgesamt aus $\sum_{j=1}^{s} n_j = n$ Adressaten bestehenden Stichprobe) maximal: Weiß ich von einem der Lernenden (aus der Stichprobe), daß er gemäß dem Anfangstest in $z_1$ war, also die Frage $f_1$ richtig beantwortet hat, dann steht damit hundertprozentig fest, daß er beim Endtest im Zustand $z_2'$ sein wird. Ebenso geht - gemäß der vierten Tabelle - ein $z_4$-Adressat mit Sicherheit in den Endzustand $z_1'$ über. Falsche Beantwortung der 1. oder richtige Beantwortung der 2. Frage geben dagegen überhaupt keine Auskunft über das 'Schicksal' der betreffenden Adressaten: $z_2$- und $z_3$-Adressaten können genau so gut in den Zustand $z_1'$ wie in den Zustand $z_2'$ übergehen. Wir sagen deswegen: In der betreffenden Stichprobe besitzen die Zustände $z_1$ und $z_4$ maximale, $z_2$ und $z_3$ minimale Prognosefähigkeit bezüglich der Endzustände $z_1'$ und $z_2'$. Wir vereinbaren: Die 'Prognosefähigkeit' eines Endzustandes $z_j$ bezüglich eines voll-

ständigen Endzustandssystems Z' ist gleich der 'Determination' des auf Z' definierten Endverhaltens durch $z_j$. Ein Maß für diese Determination - und damit für die Prognosefähigkeit - wurde in einem früheren Beitrag (Eckel, 1968) angegeben:

$$(D_j =) \quad \hat{P}_j = 1 - \frac{\hat{H}_j}{\text{ld } s'}$$

$H_j$: Shannonsche Entropie der j. Spalte der E-Matrix;

$$\hat{H}_j = - \sum_{i=1}^{s'} \hat{E}_{ij} \ \text{ld } \hat{E}_{ij} \ .$$

(Nach McGill (1954) ist $\hat{H}_j$ eine Likelihoodschätzung von $H_j = -\sum_{i=1}^{s'} E_{ij} \text{ ld } E_{ij}$.)

Wegen

$$0 \leq \hat{H}_j \leq \text{ld } s'$$

gilt

$$0 \leq \hat{P}_j \leq 1.$$

Für unsere Beispiele gilt: $\hat{P}_1 = 1$, $\hat{P}_2 = 0$, $\hat{P}_3 = 0$, $\hat{P}_4 = 1$.

## 2.2 Prognosefähigkeit für die Grundgesamtheit, aus der die Zufallsstichprobe gezogen wurde.

### 2.2.1 Zufallsgröße und statistische Schlußweise

Bei allen bis jetzt besprochenen Begriffen handelt es sich um Größen, die durch Stichproben bestimmt wurden, also mehr oder weniger vom Zufall abhängen. Aufgabe der Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik ist es, diese 'Abhängigkeit vom Zufall' zahlenmäßig zu erfassen (und nicht auch diese 'Abhängigkeit vom Zufall' dem Zufall zu überlassen). Das geschieht unter anderem dadurch, daß man Annahmen über "Elementar-Wahrscheinlichkeiten" einfacher Zustände (Elementarereignisse) macht, hieraus Schlüsse zieht und schließlich diese Schlüsse an der Erfahrung (im Experiment) prüft. Da diese wahrscheinlichkeitstheoretischen Schlüsse keine 'sicheren' Prognosen für die Empirie liefern können, fordert man eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit dieser Prognosen (über 95 %) - man geht also ein gewisses, geringes Risiko ein, sich zu irren. Solche

Schlüsse - die z.B. 99%-ig sichere Aussagen über die empirische Welt machen - können an der Erfahrung scheitern, oder nicht scheitern. Im ersten Fall sind dann die Annahmen über die Elementarwahrscheinlichkeiten (mit 99 %-iger Sicherheit) widerlegt. (Im letzteren Fall sind sie nicht widerlegt, d.h. jedoch nicht, daß die Grundannahmen bestätigt seien.)

### 8.2.2 Vertrauensgrenzen für den Parameter der Binomialverteilung

Was sagen uns die in einer Stichprobe gemessenen Übergangshäufigkeiten $\hat{E}_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_j}$ bezüglich der (großen) Gesamtheit, aus der die Stichprobe gezogen wurde? Wir wissen, daß die Häufigkeit $n_{ij}$ des Vorkommens eines Merkmals binomial verteilt ist. D.h. die Wahrscheinlichkeit, bei $n_j$ Versuchen (die sich nicht gegenseitig beeinflussen) das betreffende Merkmal genau $n_{ij}$-mal anzutreffen, beträgt:

$$W(p, n_j, n_{ij}) = \binom{n_j}{n_{ij}} p^{n_{ij}} (1-p)^{n_j - n_{ij}},$$

wobei p die Wahrscheinlichkeit ist, das betreffende Merkmal bei einem einzigen Versuch (1-mal) anzutreffen.

Die Wahrscheinlichkeit, das p-Merkmal mindestens $n_{ij}$-mal anzutreffen, beträgt

$$\sum_{k=n_{ij}}^{n_j} W(p, n_j, k) = \sum_{k=n_{ij}}^{n_j} \binom{n_j}{k} p^k (1-p)^{n_j - k}$$

Verlangen wir nun eine bestimmte, im allgemeinen große Sicherheitswahrscheinlichkeit dafür, daß das p-Merkmal bei $n_j$ Versuchen mindestens $n_{ij}$-mal auftritt, so wird p durch das Tripel ($\beta$, $n_{ij}$, $n_j$) "festgelegt". Es ergeben sich Intervalle für p, deren Länge

(i) $$\underline{p}(\beta, n_{ij}, n_j) \leq p \leq \overline{p}(\beta, n_{ij}, n_j)$$

mit wachsendem $\beta$ monoton abnimmt. Diese Intervalle $\Delta p$ heißen nach Clopper und Pearson (1934) 'Vertrauensintervalle'. Wurde vor den $n_j$ Versuchen (der Stichprobe des Umfangs n mit $n_j$ Adressaten im Anfangszustand $z_j$) eine An-

nahme über p gemacht, die dem Intervall (i) nicht entspricht, so ist die Annahme gemäß dem unter 2.2.1 Gesagten zu verwerfen. $\underline{p}$ und $\overline{p}$ heißen untere bzw. obere Vertrauensgrenze des Parameters p. Clopper und Pearson haben (1934) graphische Darstellungen gegeben, mit deren Hilfe Vertrauensgrenzen von p zur Sicherheitswahrscheinlichkeit 95 % und 99 % abgelesen werden können. Bunke hat neuerdings (1959/60) ausführliche numerische Tafeln für die Vertrauensgrenzen von p aufgestellt. Es seien hier einige Beispiele genannt (Pfanzagl (1967)):

$\beta = 0,95$

$n_j = 5$

| $n_{ij}$ | $\underline{p}$ | $\overline{p}$ |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0,485 |
| 1 | 0,020 | 0,665 |
| 3 | 0,235 | 0,894 |
| 5 | 0,515 | 1,000 |

$n_j = 20$

| $n_{ij}$ | $\underline{p}$ | $\overline{p}$ |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0,145 |
| 1 | 0,005 | 0,223 |
| 10 | 0,289 | 0,711 |
| 20 | 0,855 | 1,000 |

$n_j = 100$

| $n_{ij}$ | $\underline{p}$ | $\overline{p}$ |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0,036 |
| 5 | 0,020 | 0,113 |
| 50 | 0,398 | 0,602 |

### 2.2.3 Beispiele für Vertrauensgrenzen von Entropie und Prognosefähigkeit

Die in 2.1 definierte Stichprobenprognosefähigkeit $\hat{P}_j$ des Anfangszustands $z_j$ kann sehr groß - nahe bei eins - sein, ohne daß dem eine besondere Bedeutung zukommen müßte. Entscheidend ist die "Prognosefähigkeit für die Gesamtheit": $P_j$. Zur Erläuterung dieses Begriffs seien einige Beispiele gebracht (vergleiche auch Beispiele aus 2.1!).

(a)

| | $z_1$ $(n_1 = 5)$ |
|---|---|
| $z'_1$ | $n_{11} = 0$<br>$\hat{E}_{11} = 0$ |
| $z'_2$ | $n_{21} = 5$<br>$\hat{E}_{21} = 1$ |

Gemäß der Tabelle in 2.2.2 folgt mit 95%-iger Wahrscheinlichkeit, daß die Übergangswahrscheinlichkeit $E_{11}$ zwischen 0 und 0,485 und die Übergangswahrscheinlichkeit $E_{21}$ zwischen 0,515 und 1 liegt:

$$0 \leqq E_{11} \leqq 0,485$$
$$0,515 \leqq E_{21} \leqq 1.$$

Zwischen welchen Werten liegt nun die Gesamtheits-Entropie $H_1$? Wir müssen aus den beiden Intervallen die beiden Wertepaare suchen (mit a. W.: die beiden Verteilungen bilden), die die kleinste bzw. die größte Entropie $H_1$ liefern. Das sind

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{bzw.} \quad \begin{pmatrix} 0,485 \\ 0,515 \end{pmatrix}$$

$H_{1,max} = - 0 \text{ ld } 0 - 1 \text{ ld } 1 = 0;$

$H_{1,min} = - 0,485 \text{ ld } 0,485 - 0,515 \text{ ld } 0,515.$

$H_{1,min}$ ist nur geringfügig kleiner als 1. Für die Prognosefähigkeit $P_1$ des Anfangszustandes $z_1$ unsres Beispiels (a) folgt

$$\varepsilon \leqq P_1 \leqq 1,$$

wobei $\varepsilon$ nur geringfügig größer als 0 ist. Trotz idealer Stichproben-Prognosefähigkeit: $\hat{P}_1 = 1$, ergibt sich eine nur sehr geringe Prognosefähigkeit $P_1 \approx 0$ für die Gesamtheit (mit der Wahrscheinlichkeit von 95 %).

Beispiel (b)

| | $n_2 = 100$ | |
|---|---|---|
| | $\hat{E}_{12} = \frac{1}{2}$ | $n_{12} = 50$ |
| | $\hat{E}_{22} = \frac{1}{2}$ | $n_{22} = 50$ |

Die Vertrauensgrenzen für $E_{12}$ und $E_{22}$ sind natürlich die gleichen:

$$0,398 \leqq E_{i2} \leqq 0,602; \qquad i = 1,2.$$

Die zur minimalen bzw. maximalen Entropie gehörenden Verteilungen sind demnach

$$\begin{pmatrix} 0,398 \\ 0,602 \end{pmatrix} \quad \text{bzw.} \quad \begin{pmatrix} 0,5 \\ 0,5 \end{pmatrix}$$

Für die minimale Prognosefähigkeit

$$P_{j,\min} = \frac{1}{\mathrm{ld}\,2} \left[ 1 - (-0{,}5\ \mathrm{ld}\ 0{,}5 - 0{,}5\ \mathrm{ld}\ 0{,}5) \right]$$

$$= 0$$

erhalten wir also das gleiche wie in Beispiel (a).

Beispiel (c)

| $n_3 = 20$ | |
|---|---|
| $\hat{E}_{13} = 0$ | $n_{13} = 2$ |
| $\hat{E}_{23} = 1$ | $n_{23} = 18$ |

Für die Vertrauensgrenzen der Übergangswahrscheinlichkeiten folgt:

$$0{,}025 \leqq E_{13} \leqq 0{,}293$$

$$0{,}707 \leqq E_{23} \leqq 0{,}975\ .$$

Aus diesen Intervallen ergibt sich für die minimale Prognosefähigkeit die Verteilung

$$\begin{pmatrix} 0{,}293 \\ 0{,}707 \end{pmatrix}$$

$$P_{3,\min} = 1 + \frac{1}{\mathrm{ld}\,2} \left\{ 0{,}293\ \mathrm{ld}\ 0{,}293 + 0{,}707\ \mathrm{ld}\ 0{,}707 \right\}$$

$$\approx 0{,}1\ .$$

Nach Kullback (1959) S. 378, Tabelle für den "Informationsgewinn" $F(p_1, p_2)$:

$$F(p_1, p_2) = p_1 \ln \frac{p_1}{p_2} + (1 - p_1) \ln \frac{1 - p_1}{1 - p_2}$$

folgt mit $p_2 = \frac{1}{2}$ und $p_1 = p$ für die Entropie

$$H^*(p) = -p \ln p - (1-p) \ln (1-p)$$

$$H^*(p) = -F(p, \tfrac{1}{2}) + \ln 2.$$

Für $P_{3,min}$ ergibt sich

$$P_{3,min} = 1 - \frac{H^*}{\ln 2} = \frac{F(p, \frac{1}{2})}{\ln 2} \approx 1{,}4 \cdot F(p, \frac{1}{2}) \approx 1{,}4 \cdot 0{,}08 \approx 0{,}1.$$

Wir haben also hier zum ersten Mal den Fall, daß auch die minimale Prognosefähigkeit für die Gesamtheit, $P_{1,min}$, deutlich größer als 0 ist.

### 2.2.4 Zur Maximierung der minimalen Prognosefähigkeit $P_{min}$

Welche Eigenschaften müssen Anfangszustände $z_{opt}$ haben, damit ihre minimale (die der unteren Vertrauensgrenze entsprechenden) Prognosefähigkeit $P_{min}$ möglichst groß wird? Die Prognosefähigkeit von $z_j$ ist bestimmt dann groß, wenn

(I) $n_j$ groß ;

(II) die Spaltenverteilung von $z_j$ möglichst ungleichmäßig ist, also eine kleine Entropie $H_j$ hat.

Bedingung (II) bewirkt hohe Stichprobenprognosefähigkeit $P_j$; die Bedingungen (II) und (I) zusammen implizieren ein kleines Vertrauensintervall. Aus diesen beiden Folgerungen resultiert bei optimalem z die größte minimale: die optimale Prognosefähigkeit $P_{opt}$ für die Gesamtheit.

Nun dürften aber in der Regel die Forderung (I) und (II) komplementär sein. Denn großes $n_i$ impliziert im allgemeinen größere Inhomogenität der Adressaten in $z_j$. $n_j \ll n$ kann so interpretiert werden, daß der Vortest die Adressatenstichprobe scharf selektiert; dies wiederum läuft auf eine geringere Determination des Endverhaltens hinaus. Es ergibt sich demnach folgendes Optimalisierungsproblem: $n_j$ $(z_{opt})$ darf

einerseits nicht zu klein
andererseits aber auch nicht zu groß

sein, um ein übermäßiges Anwachsen der Entropie $\hat{H}_j$ zu vermeiden.

Wir können also die zum Anfangstest gehörenden $2^{(2^r)}$ Zustände (bezüglich einer bestimmten Stichprobe des Umfangs n aus einer bestimmten Gesamtheit, einem bestimmten Programm - und eines bestimmten Zustandssystems Z' des Endtests T') in der Reihenfolge ihrer optimalen Prognosefähigkeit $P_{opt}$ ordnen. (Natürlich können mehrere Zustände die gleiche optimale Prognosefähigkeit haben.)

### 3. Zur Definition des optimalen, vollständigen Anfangszustandssystems

Die Möglichkeit die $2^{(2^r)}$ Zustände der Menge der Anfangszustände gemäß ihrer optimalen Prognosefähigkeit zu ordnen, stellt noch keine Lösung der im Abschnitt 1 gestellten Aufgabe dar. Diese lautet: Eine vollständige Beschreibung des Anfangsverhaltens derart zu finden, daß das Endverhalten möglichst gut vorausgesagt werden kann.

Eine vollständige Verhaltensbeschreibung besteht in der Angabe eines vollständigen Zustandssystems.

(Anmerkung:

Insgesamt gibt es zu r Fragen mit je zwei Antworten

$$T_n = \frac{1}{e} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{k^n}{k!} \qquad (n = 2^r)$$

vollständige Zustandssysteme (Rényi, 1961).)

Das ist eine Menge von Zuständen derart, daß 1. keine - aufgrund des betreffenden Tests - mögliche Verhaltensweise ausgelassen wird und daß zweitens keine zwei dieser Verhaltensweisen sich überlappen. (Der Begriff 'vollständig' beinhaltet also: 'vollständige Erfassung' und 'vollständige Trennung'.) Zur Erläuterung ein Beispiel. Der Anfangstest bestehe aus 10 Fragen: $f_1, \ldots, f_{10}$. Ein vollständiges Zustandssystem bilden dann z.B.

$$f_1^{(+)} \quad \text{und} \quad f_1^{(-)}$$

Denn: wer die erste Frage nicht richtig beantwortet ($f_1^{(+)}$), beantwortet die erste Frage falsch oder überhaupt nicht ($f_1^{(-)}$). Es gibt also weder einen Adressaten, der in keinem der beiden Zustände ist, noch einen, der in beiden Zuständen sein könnte. Ähnliche 'einfache' vollständige Zustandssysteme liefern die übrigen Fragen:

$$(f_1^{(+)}; f_1^{(-)}), \ldots, (f_{10}^{(+)}, f_{10}^{(-)}).$$

Ein weniger grobes, vollständiges Zustandssystem ist folgendes:

$$(z_0, z_1, z_2, z_3, \ldots, z_{10}),$$

wobei $z_\nu$ der Zustand derjenigen Adressaten ist, die genau $\nu$ Fragen richtig beantwortet haben.

Die am meisten in Psychologie und Pädagogik verwendeten vollständigen Systeme beruhen auf dem "Punktesystem". Den Fragen $f_1, \ldots, f_r$ werden die Punktzahlen (Gewichte) $g_1, \ldots, g_r$ zugeordnet. Die höchste, erreichbare Punktzahl beträgt dann $\sum_{\nu=1}^{r} g_\nu = g$. Die Folge der kumulierten und der Größe nach geordneten Punktzahlen

$$g^{(1)}, g^{(2)}, g^{(3)}, \ldots, g^{(m)} = g$$

liefert dann die Basis für verschiedene vollständige (Zustands-)Punktsysteme.

Das feinmaschigste vollständige System bilden die sogenannten Elementarzustände (Eckel, 1966 b).

Als einfachstes Maß für die optimale Prognosefähigkeit $P_{opt}$ des vollständigen Endsystems $Z'$ schlagen wir den arithmetischen Mittelwert der Zustandsprognosefähigkeit $P_{j,opt}$ ($j = 1, 2, 3, \ldots, s$) vor:

$$P_{opt}(Z, Z') = \frac{1}{s} \sum_{j=1}^{s} P_{j,opt}$$

Wegen $0 \leqq P_{j,opt} \leqq 1$ folgt

$$0 \leqq P_{opt} \leqq 1.$$

Schrifttumsverzeichnis


Bunke, O. — Neue Konfidenzintervalle für den Parameter der Binomialverteilung
Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt-Universität zu Berlin/Math.-Nat.R. IX (1959/60)

Clopper, C.I.
Pearson, E. S. — The use of confidence or fiducial limits illustrated in the case of the binomial
Biometrika, Bd. 26, 1934

E c k e l, K. — Zur Formalisierung von Lernbegriffen (I - IV)
Schnelle Verlag, Quickborn bei Hamburg
Teil I GrKG 5 (3/4) 1964
Teil II GrKG 6/2 1965
Teil III GrKG 7/1 1966 a
Teil IV GrKG 7/3 1966 c

E c k e l, K. — Stichwörter "Lernzustand", "Lernwirkung" in: Lexikon der kybernetischen Pädagogik und der Programmierten Instruktion, Schnelle Verlag, 1966 b

E c k e l, K. — Ein scorefreies Analogon zum Regressionskoeffizienten
GrKG, Bd. 9/1, Schnelle, 1968

K u l l b a c k, S. — Information Theory and Statistics
John Wiley & Sohn, New York, 1959

M c G i l l, W. J. — Multivariate Information Transmission
Psychometrika - Vol. 19. No. 2,1954

P f a n z a g l, J. — Allgemeine Methodenlehre der Statistik (I)
Walter de Gruyter & Co., Berlin 1967
(Sammlung Göschen Bd. 746/746 a)

R é n y i, A. — Wahrscheinlichkeitsrechnung
VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1962

Eingegangen am 12. Juni 1968

Anschrift des Verfassers:
Oberstudienrat Karl Eckel, Deutsches Institut für Internationale Pädagogische Forschung, 6 Frankfurt/Main 90, Schloßstr. 29-31

# EIN KYBERNETISCHES MODELL DER KREATIVITÄT

von Herbert W. Franke, Kreuzpullach

1

Zu den Problemen, mit denen Lebewesen konfrontiert werden, gehören solche, bei denen die Zahl der gegebenen Parameter zur Lösung nicht ausreicht. Die zur Bewältigung solcher Aufgaben entwickelten Verhaltensweisen - die als kreative bezeichnet werden sollen - entziehen sich dem Vergleich mit logisch-deduktiven Automatenfunktionen. Ein kybernetisches Modell des kreativen Verhaltens muß daher auf prinzipiell andersartigen Funktionsprinzipien beruhen als der klassische Automat. In folgenden Punkten könnte es zur Klärung des Sachverhalts beitragen:

1 Begriffsbestimmung der Kreativität,
2 quantitative Fassung der kreativen Leistung,
3 biologische Entwicklung kreativer Systeme,
4 Konzeption der kreativen Maschine.

Sie betreffen so verschiedene Wissenschaften wie Neurologie, Verhaltensforschung, Psychologie, Linguistik, Ästhetik, Pädagogik, Automatentheorie.

1.1

Das Schulbeispiel für Kreativität ist das ´produktive Denken´, die ´schöpferische Phantasie´; bei diesen Prozessen tritt der ´Einfall´ anstelle des abgeleiteten Resultats. Dabei kann die Zuordnung zwischen der Lösung und dem Aufgabenschema etwa nach dem Schlüssel-Schloß-Prinzip erfolgen.

Die übergeordnete Verhaltensweise, die die kreative Problemlösung umfaßt, ist das Suchverhalten, die Appetenz der Ethologie. Gemeint ist das tastende Suchen zum Unterschied zum systematischen Forschen. Zu den Appetenzvorgängen gehören die Suche nach Nahrung, nach dem Geschlechtspartner, nach dem Nistplatz, das Sicherungs-, Durchmusterungs- und Orientierungsverhalten.

Typisch für das kreative Verhalten ist sein einleitender Charakter. Sobald eine mögliche Lösung fixiert und als relevant erkannt ist, wird es durch ein höher determiniertes Verhalten - logisch-deduktives Denken, Reflexkette, Endhandlung usw. - abgelöst. Diesem Schema entspricht die Lösungsmethode nach ´Versuch-Irrtum-Erfolg´.

1.2

Das Verhaltensrepertoire von Lebewesen hat sich unter dem Zwang von Konkurrenzen entwickelt. Problemlösende Handlungen sollen möglichst schnell zum

Ziel führen, um dem Konkurrenten oder Feind zuvorzukommen. Es ist daher aufschlußreich, es unter dem Aspekt der Spieltheorie zu betrachten.

Die dem Appetenz-Endhandlungs-Schema zugrundeliegende Situation entspricht jenem häufigen Spieltyp, bei dem dem eigentlichen, streng reglementierten Ablauf eine Suchphase vorgeschaltet ist; wer sie zuerst beenden kann (beispielsweise durch den Wurf einer ´Sechs´ oder durch das Ziehen einer bestimmten Karte), gewinnt seinem Partner gegenüber einen oft entscheidenden Vorsprung.

Bei Suchvorgängen kommt es darauf an, aus einem Reizuntergrund relevante Zeichen herauszufinden. Jede Fixation, jede Abtastung ist als Spielzug aufzufassen. Der Treffer beendet die Einleitungsphase eines Spiels und leitet in die Hauptphase über, in der komplexe Strategien anwendbar sind. Die strategischen Anweisungen für die Suchphase dagegen sind beschränkt. Die triviale Forderung der Spieltheorie lautet, bei den Fixationsfolgen kein System zu gebrauchen, das der Gegner erkennen und dem er zuvorkommen könnte. Am besten verwirklicht wird das durch statistische Wahl der nicht determinierbaren Koordinaten.

2

Das gelingt durch Steuerung nach einem Zufallsprinzip. Da bei jedem Suchvorgang auch determinierte Größen berücksichtigt werden, ist ihm insgesamt ein teilstatistisches, ein stochastisches Modell zugrundezulegen - ein System, das Zufallszahlen liefert, durch die die freien Koordinaten der Fixationen festgelegt werden.

Die Übertragung dieses Bildes auf die kreative Phantasie ist einfach. Sie hat die Aufgabe, neue Begriffskombinationen herzustellen, die auf ihre Brauchbarkeit für die Problemlösung geprüft werden. Im Unterschied zur Assoziation, die Begriffe kombiniert, für die die Erfahrung hohe Wahrscheinlichkeit für gemeinsames Auftreten ermittelt hat, zielt sie auf unwahrscheinliche Kombinationen. Das gelingt am ehesten, wenn die Adressen der tastend fixierten Speicherplätze ohne System, also nach dem Zufall, bestimmt werden.

Durch stochastische Vorgänge wird Information erzeugt. (Ob sie ´wertvolle´, also für die Problemlösung brauchbare Information ist, erweist erst die nachfolgende Kontrolle.) Die pro Zeiteinheit ausgegebene Information in bit pro Sekunde ist also ein Maß der Kreativität (wodurch dieser Ausdruck als sinnvoll bestätigt wird).

3

Für die Kreativität des menschlichen Denkens ergibt sich aus der Informationspsychologie eine obere Grenze: Die Ausgabe aus dem Reflexionsspeicher (Be-

wußtsein) kann nicht größer als die aus Sinnesorganen und Gedächtnis zufließende Eingabe sein, für deren Zuflußkapazität ungefähr 16 bit/s gelten (Frank, 1959). In Wirklichkeit ist die Ausgabekapazität der kreativen Information aber weiter eingeschränkt. Für die menschliche Sprache wurden etwa 8 bit/s gemessen (Miller, 1957).

Es gibt Anzeichen dafür, daß eine zeitweise Umstellung von assoziativem auf kreatives Denken, auch 'freie Assoziation' genannt, erfolgen kann (Shevrin, 1966). Dazu ist eine Lösnng von Kontrollinstanzen nötig, was besonders im Traum, unter Drogeneinfluß und in ähnlichen Zuständen deutlich wird. Die Annahme der Beteiligung stochastischer Prozesse am Denken liefert somit auch eine Modellvorstellung für den Traum.

Gelegenheit zur Beobachtung kreativer Denkleistungen gibt die produktiv-künstlerische Leistung, besonders, wenn sie sich vor dem Publikum vollzieht und deshalb dazu tendieren muß, die kreative Fähigkeit voll auszuschöpfen. Ein Beispiel dafür ist die Improvisation, der somit als Training der kreativen Fähigkeiten besondere pädagogische Bedeutung zukommt. In der Musik wird sie vielfach ausgeübt, aber auch in Malerei (psychischer Expressionismus) und Theater (Stegreifspiel) sind Beispiele bekannt.

Es liegt nahe, auch die freie Rede als Improvisation und somit als kreativen Prozeß aufzufassen. Bei der Wahl der tragenden Begriffe dürften Suchprozesse mit nachgeschalteten Kontrollen eine Rolle spielen. Es scheint, daß zwar das semantische Feld des gesuchten Begriffs angesteuert wird, daß dabei aber das Ergebnis statistisch moduliert wird, wodurch immer wieder neue, meist triviale, gelegentlich auch treffende und originelle Wendungen entstehen können. Es ist zu erwägen, ob es am kreativen Charakter der Sprache liegt, daß die rein deterministischen linguistischen Theorien zu keinem Abschluß gefunden haben.

3.1

Die Frage nach dem materiellen Träger der statistischen Verhaltenskomponente ist notwendigerweise mit der biologischen Evolution verbunden. Als miniaturisierte Systeme sind Lebewesen und insbesondere ihre Nervenschaltungen naturgemäß störungsbehaftet. Auch Störungen sind informationserzeugende Prozesse, wobei die entstandene Information normalerweise eine 'wertlose' ist, da sie nützliche logisch-determinierte Abläufe unterbricht. Im Laufe der Evolution mögen gelegentlich durch Mutationen störanfällige Zentren an Stellen entstanden sein, wo sich die durch sie gebotene Information und das damit erreichte flexiblere Verhalten als nützlich erwies. Durch Auslesevorgänge könnten sich solche Anlagen vererbt und weiterentwickelt haben.

Das Prinzip der Evolution mit Mutation und Auslese entspricht übrigens jenem von kreativem Einfall und Bewährungskontrolle. Es wäre zu verwundern, wenn die Natur von der informationserzeugenden Potenz der Zufallsprozesse nur im Bereich sozialer Systeme Gebrauch gemacht hätte.

4

Eine objektivierte Funktion läßt sich an Maschinen delegieren. Das stochastische Modell der Kreativität weist den Weg zu einem nicht-klassischen, informationserzeugenden Maschinentyp. Einfache Vertreter solcher Maschinen - Zufallsgeneratoren - stehen nichtsdestoweniger schon längst im praktischen Einsatz; Spielwürfel und Rouletterad sind Beispiele dafür. Um den Automaten mit konstruktiver Phantasie zu erhalten, bedarf es der Kombination eines Zufallsgenerators mit einem nachgeschalteten logischen Auslesesystem. Auch derartige Automaten stehen vereinzelt schon im Gebrauch - bei der Simulation von Lebensvorgängen und im Dienste der mit Computern generierten Musik, Grafik und Poesie; der Einsatz von Zufallsgeneratoren ist in diesem Zusammenhang als 'Monte-Carlo-Methode' bekannt geworden.

Das stochastische Modell der Kreativität wie auch die bisherigen Anwendungen in der Computerkunst machen die Bedeutung der kreativen Leistung klar, zeigen aber auch, daß sie erst durch das Zusammenwirken mit einer Kontrollinstanz zu den höchsten Denkleistungen führt.

Schrifttumsverzeichnis

Frank, H. — Grundlagenprobleme der Informationsästhetik und erste Anwendung auf die mime pure; Dissertation, Technische Hochschule Stuttgart, 1959

Miller, G.A. — zitiert nach: P.R. Hofstätter, Psychologie; Fischer Bücherei, Frankfurt/M., 1957

Shevrin, H. — zitiert nach: Science News Letter 89:135, 1966

Eine ähnliche Auffassung des induktiven Denkens als informationserzeugender Prozeß findet sich bei:

Stachowiak, H. — Denken und Erkennen im kybernetischen Modell, Springer-Verlag, Wien, 1965

Eingegangen am 23. April 1968

Anschrift des Verfassers:
Dr. Herbert W. Franke, 8024 Kreuzpullach, Jagdhaus

## KYBERNETIK ALS TECHNIK DES LEBENDIGEN

von Felix von Cube, Berlin

Maser (1968) hat den dynamischen Aspekt der Kybernetik, den einige Autoren - z.B. Klaus (1961), Flechtner (1967), Frank (1966) u.a. - schon seit längerem als das Charakteristische der Kybernetik herausgestellt haben, aufgegriffen und systematisch erweitert. Die interessanten Überlegungen Masers können indessen - ohne daß dabei ein Widerspruch entstünde - noch unter einem anderen Aspekt gesehen werden: unter dem Aspekt der Kybernetik als Technik des Lebendigen.

Maser kennzeichnet den klassischen Begriff der Wissenschaft als einen statischen, "der als solcher abgeschlossene oder zumindest prinzipiell abschließbare vollständige Systeme ins Auge faßt" (S. 109). Ein solcher Wissenschaftsbegriff beschreibt die Welt als etwas "Abgeschlossenes", "Begrenztes", "Fertiges"; ihm liegt eine statische Weltauffassung zugrunde, die auf Parmenides zurückgeht.

Nach Maser genügt der heutigen Forschung diese Weltauffassung nicht mehr, sie wird durch eine dynamische Sichtweise ersetzt, die einen entsprechenden Wissenschaftsbegriff erforderlich macht. Eine solche dynamische Konzeption von Wissenschaft sieht Maser in der Kybernetik verwirklicht; im einzelnen schreibt er dazu folgendes (1968, S. 109):

"Diesen klassischen, statischen Wissenschaften oder diesen Wissenschaften vom Parmenidesschen Typ treten nun in der heutigen Forschung auf ganzer Breite die transklassischen, kybernetischen oder dynamischen Wissenschaften oder die Wissenschaften vom Heraklitschen Typ (panta rhei = alles fließt) entgegen, in denen eine dynamische, eine offene Vorstellung der Welt zugrundeliegt: Die Welt besteht nicht aus Seiendem, aus Abgeschlossenem, aus Fertigem, sondern aus Werdendem, aus sich Veränderndem, aus Offenem, aus Prozessen. Nicht wie die Welt ist, sondern wie sie funktioniert, und wie sie als Funktionierende beherrschbar ist, das ist in den heutigen Wissenschaften von Interesse. Die kybernetischen oder dynamischen Wissenschaften versuchen, eine adäquate Beschreibung einer funktionalen, prozessualen, werdenden Welt zu geben, um diese dadurch zu verstehen, nachzuahmen und zu beherrschen ... Der Übergang von den klassischen zu den transklassischen Wissenschaften besteht demnach in dem Übergang von einer statischen zu einer dynamischen Auffassung der Welt."

Zweifellos hat Maser recht, wenn er die Kybernetik als transklassische, eine dynamische Welt beschreibende Wissenschaft bezeichnet; m.E. beschreibt die Kybernetik jedoch nur einen bestimmten Teilbereich der dynamischen Welt: den Bereich des originär Lebendigen.

Sehen wir uns zunächst die Grundbegriffe der Kybernetik an! Steuerung, Regelung, Information etc. sind ganz eindeutig Begriffe, die aus dem Bereich des Lebendigen stammen und zur Beschreibung organischer Prozesse dienen. Steuerungs- und Regelungsprozesse(zur Aufrechterhaltung bestimmter Zustände oder zur Erreichung von Zielen)existieren - abgesehen von den jetzt vorliegenden technischen Konstruktionen - nur im Bereich des Organischen. Der Begriff der Information hat letztlich nur Sinn, wenn ein Empfänger existiert, für den die physikalischen Signale tatsächlich auch Information (im umgangssprachlichen Sinne) bedeuten.

So handelt es sich also bei Steuerung, Regelung oder Information zwar einerseits um etwas Dynamisches, andererseits aber um originäre Prozesse des Lebendigen. Der zweite Hauptsatz der Wärmelehre beschreibt auch einen dynamischen Prozeß; zu dieser Beschreibung braucht indessen das System der klassischen Wissenschaften nicht überschritten zu werden. Kybernetik taucht erst in Verbindung mit der organischen Welt auf - ein Sachverhalt, den bereits Wiener deutlich hervorgehoben hat.

Betrachtet man die seit Wiener vorgenommenen Erweiterungen des Begriffs Kybernetik, so wird man feststellen, daß sie sich alle im Bereich des Lebendigen bewegen: in den Disziplinen Psychologie, Soziologie, Pädagogik, Ästhetik etc.

Ein weiterer Aspekt wird damit deutlich: Die Kybernetik ist einmal die Wissenschaft, die Lebendiges beschreibt (und damit natürlich auch dynamische Prozesse) und sie ist die Technik, die Lebendiges simuliert. Die bisherige, traditionelle Technik beruht auf der Kenntnis und Nutzung der unbelebten Natur, die transklassische Technik der Kybernetik auf der Kenntnis organischer Strukturen und Funktionen: Thermostat und Computer haben ein funktionales Analogon im Organischen; lernende Automaten sind dem organischen Prozeß des Lernens nachgebaut.

(Betrachtet man die Entwicklung der Kybernetik historisch, so wird man sagen können, daß der Mensch schon immer bestrebt war, auch Lebendiges technisch nachzuahmen oder neu zu konstruieren. Daß es lange nicht gelungen ist, Funktionen des Lebendigen wirkungsvoll zu realisieren, lag sicher nicht an der mangelnden Absicht, sondern an den unzureichenden Mitteln.)

Denkt man noch an die Erweiterung der Technik, die sich aus der Anwendung quantitativer Methoden in Human- und Sozialwissenschaften ergibt, so lassen sich insgesamt drei Aspekte der Kybernetik als Technik des Lebendigen unterscheiden: Beschreibung des Lebendigen durch kybernetische Modelle (z.B. den Regelkreis), maschinelle Nachahmung organischer Funktionen (z.B. lernende Automaten), Human- und Soziotechniken, die der Erreichung bestimmter Ziele dienen.

Unter den genannten Gesichtspunkten führt die häufig gestellte Frage nach den prinzipiellen Möglichkeiten und Grenzen der Kybernetik zu folgender Überlegung:

Charakteristisch für das Lebendige sind (in dem untersuchten Zusammenhang) drei Sachverhalte: einmal die Aufrechterhaltung und Optimierung bestimmter Zustände (das kann die Kybernetik bereits mit Erfolg simulieren), zum zweiten die Erreichung von Zielen (das scheint die Kybernetik prinzipiell realisieren zu können) und schließlich die Tatsache, daß überhaupt irgendwelche Ziele aufgestellt werden. Hier sind wir an einem entscheidenden Punkt angelangt: Die Setzung von Zielen (Glück, Macht, Prestige etc.) ist kein rationaler Vorgang.

Eine Maschine, die mit den gegenwärtigen Mitteln der Kybernetik gebaut ist, wird also immer nur gesetzte Ziele erreichen können (z.B. beim Schachspiel zu siegen), selbst aber keine Ziele setzen. Insofern ist also der Mensch nicht, wie Maser sagt, "der Lotse der Welt" (diese Funktion kann prinzipiell von der Kybernetik übernommen werden), er ist vielmehr der Kapitän der Welt. Diese Auffassung steht im Einklang mit der von A. Ducrocq (1959) geäußerten, nach der das Programm der Kybernetik darin besteht, "uns systematisch zur Erreichung jedes beliebigen Zieles zu befähigen".

Die Tätigkeit des Ziele-Setzens ist offenbar an emotionale oder, physiologisch gesprochen, hormonale Bedingungen geknüpft. Gelänge es, diesen Bereich des Lebendigen exakt zu erforschen und technisch zu simulieren, könnten evtl. auch zielsetzende Maschinen konstruiert werden. Dann allerdings ließe sich die Unterscheidung von belebter und unbelebter Natur in funktionaler Hinsicht nicht mehr treffen und Maser hätte wieder recht, wenn er den gesamten dynamischen Aspekt der Welt als Kybernetik bezeichnete.

Schrifttumsverzeichnis

Ducrocq, A. — Die Entdeckung der Kybernetik. Frankf./M. 1959

Flechtner, H.-J. — Grundbegriffe der Kybernetik. Stuttgart 1967

Frank, H. — Kybernetik und Philosophie. Berlin 1966

Klaus, G. — Kybernetik in philosophischer Sicht. Berlin 1961

Maser, S. — Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Kybernetik. IBM-Nachrichten 188, April 1968

Eingegangen am 27. Juni 1968

Anschrift des Verfassers:
Prof. Dr. Felix von Cube, 1 Berlin 41, Odenwaldstr. 26

HAT DAS BEWUSSTSEIN EINE AUFGABE?

von Hans-Werner Klement, Bad Homburg

Die Beantwortung der Frage, ob es ein Bewußtsein gibt, das zwar dem Menschen, nicht aber einem künstlichen kybernetischen System eignet, ist vom Standpunkt des Kybernetikers aus nicht selbstverständlich. Helmar Frank (1966) z.B. sieht hierin eine Definitionsfrage. Es erscheint deshalb als sinnvoll, zu untersuchen, welchen Zweck die Natur bei der Schaffung von Bewußtsein verfolgt haben könnte. Dean E. Wooldridge (1963) schreibt hierzu: "Das relativ seltene Auftreten der Bedingungen für Bewußtseinszustände kann mit deren relativer Bedeutungslosigkeit verglichen werden. Bisher fand man noch keinen Verwendungszweck für das Bewußtsein, das einen kleinen Bruchteil der Seelentätigkeit einiger weniger Arten von höheren Tieren erhellt. Es ist nicht sicher, ob das Verhalten irgendeines Individuums oder der Lauf der Weltgeschichte irgendwie beeinflußt worden wäre, wenn es kein Bewußtsein gäbe." - Ob man wirklich von der Bedeutungslosigkeit des Bewußtseins, insbesondere für die Geistesgeschichte des Menschen, sprechen kann, soll im folgenden untersucht werden.

Gerhard Frey (1965 a, b) hat die Frage behandelt, ob es möglich sei, einen Automaten zu bauen, dessen Maschinensprache die Umgangssprache ist. Er verneint diese Frage mit folgender Begründung: Um einen Automaten bauen zu können, müssen wir seine Sprache beschreiben. Eine Sprache kann aber nicht mit den eigenen sprachlichen Mitteln definiert und beschrieben werden. Ihre syntaktischen und semantischen Funktionen bedürfen der Beschreibung in einer an sprachlichen Mitteln reicheren Meta-Sprache. Da wir keine Meta-Sprache zur Umgangssprache kennen, können wir diese nicht in einer Meta-Sprache beschreiben. Wir können somit auch nicht die Voraussetzungen für den Bau eines Automaten schaffen, dessen Maschinensprache die Umgangssprache ist. Maschinensprache kann deshalb nur eine formale Sprache sein, die z.B. in der Umgangssprache definiert und beschrieben wird.

Anknüpfend an die Überlegung von Frey kann man nun sagen: Voraussetzung für die Konstruktion eines Automaten ist die Existenz einer Maschinensprache und damit der Sprache überhaupt. Das menschliche Gehirn dagegen ist ein Produkt der Evolution, in deren Verlauf es nicht etwa nur die Fähigkeit erlangt hat, eine gegebene Sprache zu erlernen. Es hat vielmehr die Fähigkeit erlangt, die Umgangssprache zu bilden. Konstruktion eines Automaten und Evolution des Gehirns unterscheiden sich also voneinander in fundamentaler Weise: Bei der Konstruktion des Automaten ist die Existenz der Sprache Voraussetzung für die Entstehung des Systems, bei der Evolution des Gehirns aber war die Existenz des Systems Voraussetzung für die Entstehung der Sprache.

Das menschliche Gehirn muß demnach über ein vor-sprachliches Denksystem verfügen, das ihm erlaubt hat, Syntax und Semantik der Umgangssprache zu bilden: Ein Meta-System der Umgangssprachen, reicher an begrifflichen Mitteln, aber unbestimmter als die Umgangssprachen. Der Verfasser möchte die These aufstellen, daß die Eingabe von Information in Form von "erlebter" Wahrnehmung ein wesentlicher Bestandteil dieses Systems ist, wesentlich vor allem für die Bildung der Sprache durch das System. Der Begriff der erlebten Wahrnehmung wird dabei im Sinne der Ganzheitspsychologie gebraucht. Er umfaßt das bewußte Erleben der Wahrnehmung einschließlich ihrer gefühlsbetonten Seiten und des Schmerzes, der als Extremwert einer Wahrnehmung betrachtet werden kann.

Benjamin Lee Whorf (1941) schrieb über die Beziehungen zwischen Bewußtsein und Sprache:"Meine eigenen Forschungen lassen mich annehmen, Sprache sei, so königlich auch ihre Rolle ist, gewissermaßen nur ein oberflächliches Muster tiefer Bewußtseinsprozesse, welche die Bedingung aller Kommunikation, alles Signalisierens und aller Symbolisierungen sind und nötigenfalls auch ohne Sprache und Symbolismen in Kommunikation treten (wenngleich keine eigentliche Übereinkunft erreichen) können." - Unsere These stimmt mit der Annahme von Whorf überein hinsichtlich der Existenz nicht-sprachlicher bzw. vor-sprachlicher Bewußtseinsprozesse und hinsichtlich ihrer Bedeutung als Voraussetzung für sprachliche Kommunikation. Auch der Annahme, daß diese Bewußtseinsprozesse nicht-sprachliche bzw. vor-sprachliche Kommunikation ermöglichen, können wir uns anschließen, soweit damit Kommunikation mittels Gebärden oder Lauten gemeint ist, deren Bedeutung erlernt werden muß. Kommunikation mittels angeborener Signale und Auslösemechanismen setzt dagegen nicht Bewußtsein, sondern nur die Fähigkeit zur Unterscheidung zwischen eigenen und fremden Signalen, d.h. die Wirksamkeit des Reafferenzprinzips als einer Komponente des Bewußtseins voraus.

Dennis Gabor (1962) steht auf dem Standpunkt, daß sprachliche Kommunikation kein Bewußtsein voraussetze, während Kommunikation mittels nicht-sprachlicher Hinweise nur bei Vorhandensein von Bewußtsein möglich sei. Übereinstimmung mit unserer These besteht wiederum hinsichtlich der Existenz vor-sprachlicher bzw. nicht-sprachlicher Bewußtseinsprozesse und ihrer Relevanz im Zusammenhang mit der Kommunikation, wobei auch hier das oben hinsichtlich der Kommunikation mittels angeborener Signale und Auslösemechanismen Gesagte gilt. Übereinstimmung besteht auch hinsichtlich der Auffassung, daß sprachliche Kommunikation kein Bewußtsein voraussetze, soweit es dabei um die Kommunikation von Automaten in vorgegebenen Sprachen geht. Hierzu ist kein dem des Menschen vergleichbares Bewußtsein erforderlich. Für die Bildung einer Sprache durch den Automaten aber wäre solches Bewußtsein - und verbunden damit wahrscheinlich auch vor-sprachliche Kommunikation - Voraussetzung.

Zusammenfassend gelangen wir zu der Vorstellung, daß die Kommunikation von Lebewesen im Zuge der Evolution folgende Phasen durchlaufen hat:

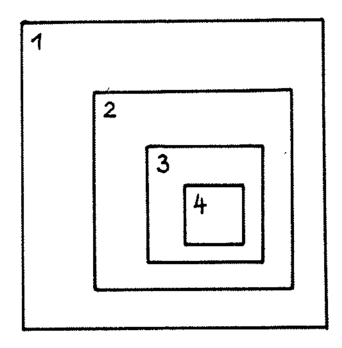
1. Kommunikation mittels angeborener Signale und Auslösemechanismen, verbunden mit der Wirksamkeit des Reafferenzprinzips.

2. Vor-sprachliche Kommunikation mittels Gebärden und Lauten, deren Bedeutung erlernt werden muß, verbunden mit erlebter Wahrnehmung und vor-sprachlichem Denken; Phase der Sprachbildung beim Menschen.

3. Kommunikation mittels Umgangssprachen, verbunden mit der Möglichkeit zum reflexiven Denken als höchster Stufe des Bewußtseins.

4. Kommunikation mittels formaler Sprachen.

Um ganz deutlich zu machen, wie die hier vertretene These verstanden sein soll, sei mit allen Vorbehalten, die solchen Schemata gegenüber angebracht sind, folgende Darstellung gegeben:




In dieser Abbildung sollen bedeuten:

das von Quadrat 1 umschlossene Gebiet die "Wirklichkeit";

das von Quadrat 2 umschlossene Gebiet den Ausschnitt der Wirklichkeit, der erlebter Wahrnehmung zugänglich ist, und auf den sich vor-sprachliches Denken bezieht;

das von Quadrat 3 umschlossene Gebiet den Ausschnitt der erlebten Wahrnehmung, auf den sich sprachliches Denken und Kommunikation in Umgangssprachen beziehen;

das von Quadrat 4 umschlossene Gebiet den Ausschnitt hieraus, auf den sich Denken und Kommunikation in Formalsprachen beziehen.

Der einbezogene Ausschnitt der Wirklichkeit wird von 1 nach 4 kleiner, wobei der Grad der Abstraktion steigt. Die Grenzen von 2, 3 und 4 können sich selbstverständlich verschieben, indem z.B. neue Instrumente zu neuen Wahrnehmungen verhelfen oder neue Bereiche des Erlebens sprachlichen Ausdruck finden.

Aufgrund unserer These stellt sich die Frage, wie denn erlebte Wahrnehmung als eine Komponente des Bewußtseins erzeugt werden könne. Nach dem oben Gesagten ist es vielleicht prinzipiell unmöglich, mit unseren sprachlichen Mitteln hierüber eine Theorie aufzustellen. Immerhin aber gibt uns die Neurophysiologie den Hinweis, daß wesentliche Zusammenhänge zwischen der Entwicklung des Thalamus im Zentralnervensystem der Wirbeltiere einerseits und Bewußtseinsprozessen, Gefühl und Schmerz andererseits bestehen. Man weiß z.B., daß bestimmte afferente Bahnen, wie etwa die optischen Bahnen, bei niederen Wirbeltieren im Mittelhirn enden, während sie bei höheren Wirbeltieren zu dem im Laufe der Evolution weiterentwickelten Thalamus geführt, dort umgeschaltet und zum Großhirn weitergeleitet werden. Es liegt die Vermutung nahe, daß das Erlebnis der betreffenden Wahrnehmung jeweils mit diesem Entwicklungsschritt einsetzt.

Folgt man diesen Überlegungen, so kommt man zu dem Schluß, daß die Existenz eines Bewußtseins, das dem Menschen und in weniger vervollkommneter Form auch anderen Lebewesen eignet, nicht aber künstlichen kybernetischen Systemen, zumindest so lange zu bejahen ist, wie es keine künstlichen Systeme gibt, die selbständig eine vom Erbauer nicht definierte und beschriebene Sprache entwickeln können. Die Existenz von künstlichen Systemen, die Information in einer vorgegebenen Sprache verarbeiten können, ist kein Gegenbeweis. Sie beweist nur, daß es möglich ist, einzelne Bauelemente des Bewußtseins künstlich zu erzeugen. Auch das vom Verfasser (1967) beschriebene, dem Reafferenzprinzip entsprechende künstliche System, das zwischen eigenen und fremden Signalen unterscheiden kann, ist ein Bauelement künstlichen Bewußtseins, wie das Reafferenzprinzip als Bauelement natürlichen Bewußtseins zu betrachten ist. Dieses Prinzip findet bereits bei primitiven Lebewesen Verwendung und macht mit der Unterscheidung des Lebewesens zwischen sich selbst und der Außenwelt sinnvolle Reaktionen auf die Außenwelt möglich. Wir können ein solches Bauelement künstlich erzeugen, z.B. um Kommunikation zwischen Automaten zu ermöglichen, deren Eingänge neben fremden Signalen auch die eigenen Signale empfangen. Volles künstliches Bewußtsein aber können wir nicht erzeugen, denn es fehlt uns insbesondere ein Bauelement, das Wahrnehmungen erleben kann.

Wenn unsere Feststellungen richtig sind, kann von einer relativen Bedeutungslosigkeit des Bewußtseins selbst dann keine Rede sein, wenn es prinzipiell mög-

lich sein sollte, Bewußtsein künstlich zu erzeugen. Vielmehr muß man zu dem Schluß kommen, daß es ohne Bewußtsein keine Geistesgeschichte des Menschen geben würde.

Schrifttumsverzeichnis

| | |
|---|---|
| Frank, Helmar | Kybernetik und Philosophie<br>Duncker und Humblot, Berlin 1966 |
| Frey, Gerhard | Erkenntnis der Wirklichkeit<br>W. Kohlhammer Verlag, Stuttgart/Berlin/Köln/Mainz 1965 a |
| Frey, Gerhard | Sprache - Ausdruck des Bewußtseins<br>W. Kohlhammer Verlag, Stuttgart 1965 b |
| Gabor, Dennis | The Dimensions of Consciousness, 1962, abgehandelt in H.J. Flechtner, Grundbegriffe der Kybernetik, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart 1966, S. 123 |
| Klement, Hans-Werner | Reafferenzprinzip und Bewußtsein<br>GrKG 8/2, 1967 |
| Whorf, Benjamin Lee | Sprachen und Logik, 1941<br>Deutsche Übersetzung in Sprache, Denken, Wirklichkeit, 3. Auflage, Rowohlt-Verlag, Reinbek, S. 39 |
| Wooldridge, Dean E. | Mechanik der Gehirnvorgänge<br>R. Oldenbourg, Wien/München 1967, S. 301<br>(Originalausgabe: The Machinery of the Brain, 1963) |

Eingegangen am 8. Februar 1968

Anschrift des Verfassers:
Dr. Hans-Werner Klement, 638 Bad Homburg, Theodor-Storm-Str. 27

DIE HALBALGORITHMISCHE FORMALDIDAKTIK COGENDI

von Helge Blischke, Wolfgang Hilbig und Renate Rüßmann, Berlin

## 1. Allgemeines

COGENDI ist ein in der maschinenorientierten Programmiersprache PROSA 300 formuliertes Rechnerprogramm zur halbalgorithmischen Erstellung linearer und verzweigender Lehrprogramme.

Das Programm ist in der z. Z. vorliegenden Fassung verwendbar für Anlagen des Typs SIEMENS 303 unter Verwendung des Organisationsprogramms I - 3036 (entwickelt am Institut für Kybernetik aus dem 303-Standard-Organisationsprogramm) sofern ein externer Massenspeicher (Trommel, Platte, mindestens 512 K Bytes) zur Verfügung steht. Mit gewissen Änderungen sowohl am Programm als auch am Organisationsprogramm dieser Anlagen ist es auch auf den Maschinen SIEMENS 304, 305 und 3003 einsetzbar.

Der Programmumfang beträgt ca. 22000 Befehle. Die Laufzeit ist stark abhängig vom Umfang des angebotenen Textmaterials. Grob geschätzt ergeben sich für die einzelnen Programmteile auf der SIEMENS 303 folgende Laufzeiten:

| | |
|---|---|
| Einlese- und Vorbereitungsteil | 0.75 - 1.5 Stunden |
| Dualisierteil | 1.0 - 2.5 Stunden |
| Linearteil | ca. 1 Min. /Lehrschritt |
| Nichtlinearteil | ca. 2 - 3 Min. /Lehrschritt |

Diese Zeiten verringern sich bei den Anlagen 304 und 305 auf etwa ein Fünfzehntel, bei der 3003 auf etwa ein Fünftel.

Das dem Programm zugrundeliegende, auf informationspsychologischen Ansätzen basierende und in der Sprache der Automatentheorie formulierte Adressatenmodell wird beschrieben von H. Frank (1966, S. 302). Dort wurde das im folgenden zu behandelnde Rechnerprogramm (die "Formaldidaktik") COGENDI noch unter dem Arbeitstitel "Bausteinmethode" aufgeführt. Eine spätere, inzwischen ebenfalls fallengelassene Bezeichnung war "PROPRO". -

Ausgangsmaterial für die Erstellung des Lehrprogramms (LP) sind drei Texte:

a) Basaltext
b) Lehrquanten (Q)
c) Verknüpfer (V)

Der Basaltext enthält den zu lehrenden Stoff in knapper, redundanzarmer Form. Die Lehrquanten stellen Aussagen zu dem im Basaltext formulierten Stoff dar. Sie können Erklärungen, Definitionen, Beispiele usw. sein. Die Verknüpfer leiten zum nächsten Lehrschritt über. In der Regel werden sie als Fragen oder Aufforderungen an den Adressaten formuliert. Zu jedem V sind maximal fünf Auswahlantworten zugelassen. Diesen entsprechen maximal fünf verschiedene Fortsetzungen des LPs im Anschluß an Verknüpfer, wenn ein verzweigendes LP gewünscht wurde. Das zu generierende Lehrprogramm besteht aus Lehrschritten, die selbst jeweils aus einem Lehrquant, einem Verknüpfer und gegebenenfalls einem Urteil zusammengesetzt sind.

Das Ziel des LPs wird durch Angabe von Sollwerten ($p_{SOLL}$) pro Basaltextsatz vorgegeben. Der Sollwert gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der der im betreffenden Basaltextsatz beschriebene Sachverhalt nach Durcharbeiten des Lehrprogramms dem Adressatenkollektiv bekannt sein soll. Entsprechend wird durch Vorgabe von Istwerten ($p_{IST}$) der Ausgangszustand des Adressatenkollektivs definiert.

Die Soll- und Istwerte bilden Parameter für das Adressatenmodell, das die Auswahl der Q und V steuert. In dieses Modell gehen darüber hinaus noch vier weitere Parameter ein:

TAUAK: "Trägheitskonstante" der informationellen Akkomodation, $C_k$: Apperzeptionsgeschwindigkeit, $C_{vk}$: Übergangsgeschwindigkeit vom vorbewußten Gedächtnis zum Kurzspeicher, $K_{vk}$: Kapazität des Kurzspeichers.

Durch Veränderung der Ist- bzw. Sollwerte und Variieren der altersabhängigen vier informationspsychologischen Parameter im Rahmen der empirisch ermittelten Grenzen läßt sich das zu erstellende Lehrprogramm optimal an ein vorgegebenes Adressatenkollektiv anpassen.

Die Leistung von COGENDI besteht im wesentlichen in der Festlegung einer im Hinblick auf das zugrundeliegende Adressatenmodell optimalen Aufeinanderfolge der Lehrquanten und in einer - soweit vom Rechner mit sinnvollem Aufwand möglichen - optimalen Zuordnung von Quant und Verknüpfer. Dies bedeutet u.a., daß die Reihenfolge, in der Lehrquanten und Verknüpfer in den Rechner eingelesen werden, beliebig ist.

Da die vorgegebenen Texte vom Rechner rein syntaktisch interpretiert werden, kann es vorteilhaft sein, die Struktur des entstehenden Lehrprogramms wenigstens "lokal" in gewissem Maße vorgeben zu können. Dies geschieht durch wahlweise Angabe von: Vorbereichen, Nachbereichen und Folgeanweisungen.

Vor- und Nachbereiche werden zu Verknüpfern definiert. Der Vorbereich eines Verknüpfers gibt an, mit welchen Quanten dieser Verknüpfer zu einem Lehrschritt zusammengesetzt werden darf, d.h. auf welche Quanten er folgen darf.
Zu jeder der maximal fünf Auswahlantworten zu einem Verknüpfer gibt der entsprechende Nachbereich an, welche Quanten im folgenden Lehrschritt auftreten dürfen. Folgeanweisungen ermöglichen die Festlegung, daß bestimmte Quanten erst dann im Lehrprogramm erscheinen dürfen, wenn bestimmte andere Quanten schon aufgetreten sind.

Die Ausgabe der Lehrprogramme kann den vorgesehenen Darbietungsmedien angepaßt werden.

Im folgenden werden Aufbau und Arbeitsweise des Programms beschrieben.

COGENDI umfaßt sechs Programmteile:

Teil 0 (Steuerteil)
Bedienung des Programms, Bereitstellung der übrigen Programmteile vom Externspeicher

Teil 1 (Vorbereitungsteil)
Einlesen und Aufbereiten der Texte
Teil 2 (Dualisierteil)
Umformen der Texte, Aufbau von Wortlisten
Teil 3 (Lineartei1)
Generieren des linearen Lehrprogramms
Teil 4 (Nichtlinearteil)
Erweitern des im Teil 3 erzeugten Lehrprogramms durch Verzweigung
Teil 5 (Ausgabeteil)
Ausgabe des Lehrprogramms

2. Steuerteil (Teil 0)

Aus Speicherplatzgründen wurde das Gesamtsystem segmentiert. Der Steuerteil lädt die einzelnen Segmente vom Extern- in den Arbeitsspeicher, koordiniert deren Ablauf und ermöglicht die leichte Bedienung des Systems durch den Operateur.

3. Vorbereitungsteil (Teil 1)

Der Vorbereitungsteil liest die Quelldaten von Lochstreifen ein:

(1) Basaltext: Der Basaltext stellt eine knappe, redundanzarme Zusammenfassung des Lehrstoffs dar, der zu einem Lehrprogramm verarbeitet werden soll. Er ist in der deutschen Umgangssprache zu formulieren. Die Satzstruktur des Basaltextes wird vom Lehrprogrammgenerator zur syntaktischen Charakterisierung der im Basaltext enthaltenen semantischen Information verwendet: die Kette der "nichttrivialen" (nicht in der Trivialwortliste, s. (4), enthaltenen) Wörter des einzelnen Basaltextsatzes stellt für COGENDI die syntaktische Charakterisierung eines zu lernenden Begriffes dar, der für den Menschen durch die semantische Struktur des Basaltextsatzes definiert wird.

Bei der Einführung neuer Begriffe (im oben beschriebenen Sinne) im Lehrprogramm geht COGENDI im wesentlichen in der Reihenfolge der Basaltextsätze vor, so daß eine semantisch sinnvolle Reihenfolge der Einführung neuer Begriffe im Lehrprogramm erreicht wird.

(2) Lehrquantentext: Der Lehrquantentext enthält zu jedem Begriff des Basaltextes nach (1) mindestens einen Sachverhalt, der dem Adressaten in dieser Form als erster Teil eines Lehrschrittes angeboten werden kann. Die Lehrquanten müssen voneinander unabhängig sein, d. h. dürfen nicht aufeinander Bezug nehmen und müssen, um sinnvoll verarbeitet werden zu können, wenigstens eines der nichttrivialen Wörter des zugehörigen Basaltextsatzes enthalten. In bezug auf die Redundanz der Lehrquanten bestehen keine prinzipiellen Einschränkungen. Die maximale Anzahl der Lehrquanten beträgt 125.

(3) Verknüpfertext: Der Verknüpfertext besteht aus Fragen zu den im Basaltext formulierten Sachverhalten, Überleitungen zwischen Lehrschritten oder

Aufforderungen an den Adressaten. Jeder Verknüpfer kann dem Adressaten mehrere (bis zu 5) alternative Reaktionsmöglichkeiten bieten, aufgrund deren Auswertung dem Adressaten ein Folgelehrschritt angeboten werden kann. Die Formulierung der Verknüpfer ist so zu wählen, daß eine merkliche Übereinstimmung (in der Zahl nichttrivialer Wörter) mit zugehörigen Lehrquanten erreicht wird, an der das Programm zu einem speziellen Lehrquant passende Verknüpfer auswählen kann.

(4) Trivialwortliste (T-Text): Der Trivialtext enthält eine Liste der ca. ersten 1200 häufigsten Wörter der deutschen Umgangssprache (nach Kaeding und Meier). Sie wird als Vergleichsliste zur Aussonderung der wesentlichen, nichttrivialen Wörter aus Basaltext, Quanten und Verknüpfern benötigt. In besonderen Fällen kann statt der Standard-Trivialwortliste auch eine individuelle Trivialwortliste angefertigt und benutzt werden. Für sie muß dann eine eigene Trivialinformationsliste erstellt werden.

(5) Trivialinformationsliste (I-Text): Sie enthält zu jedem Trivialwort des T-Textes die mit 10 multiplizierte, aus der relativen Häufigkeit des zugehörigen Wortes in der deutschen Umgangssprache ermittelte Information in bit. Die Standard-Trivialwortliste und die Standard-Trivialinformationsliste gehören zum System und brauchen im Normalfall nicht eingegeben zu werden.

Die genannten Texte werden beim Einlesen in einer Weise normiert, die die spätere Verarbeitung erleichtert. So werden in den Texten 1 bis 3 alle Wörter auf den gleichen "Abstand" von drei Zeichen Zwischenraum (bzw. zwei Zeichen Zwischenraum und ein Satzzeichen) gebracht, was das Absuchen eines Textes auf ein bestimmtes Wort erleichtert. Für den Text 4 wird ein konstanter Wortabstand von 5 Zeichen Zwischenraum eingeführt; die Trivialinformationen aus dem Text 5 werden dann als Dualzahl in den Zeichen 2 bis 5 des Trivialwortabstandes untergebracht.
Um sicherzustellen, daß zu allen Sätzen des Basaltextes ein Lehrquant vorhanden ist, werden die Sätze des Basaltextes als zusätzliche Quanten (unter Beibehaltung ihrer Reihenfolge) unmittelbar vor dem letzten Lehrquant des Textes (2) abgesetzt. In der so normierten Form werden alle eingelesenen Texte (T- und I- Text zusammen) auf dem Trommelspeicher abgesetzt.

## 4. Dualisierteil (Teil 2)

Aus dem Basaltext werden alle nichttrivialen Wörter (unter Verwendung der Trivialwortliste) heraussortiert und in der Reihenfolge ihres erstmaligen Auftretens in eine Vergleichsliste, die NTB-Liste (Liste der nichttrivialen Basaltextwörter) übertragen. Parallel dazu wird eine weitere Liste aufgebaut: der initiale C-Speicher. Er enthält zu jedem NTB-Wort die Nummer des Basaltextsatzes, in dem es erstmals auftritt, die Wortlänge (Zeichenzahl einschließlich des begrenzenden Zwischenraums) sowie freien Platz zur Aufnahme von später (im Linearteil) zu berechnenden Informationswerten und Markierungen. Der initiale C-Speicher

dient später als kodierte Form der syntaktischen Charakterisierung der im Basaltext enthaltenen semantischen Strukturen und semantischen Information.

In einem dritten Schritt wird anschließend eine NT-Liste analog der NTB-Liste aufgebaut, die alle nichttrivialen Wörter der Quanten und Verknüpfer enthält, die nicht bereits in der NTB-Liste aufgeführt sind. Analog dem initialen C-Speicher wird ein initialer D-Speicher aufgebaut, der zu jedem NT-Wort seine Länge sowie freien Platz zur späteren Speicherung von Informationswerten enthält.

Parallel dazu werden die Quanten und Verknüpfer umcodiert. Da alle wesentlichen Wörter durch ihren Platz in der NTB- bzw. NT-Liste eindeutig bestimmt sind, kann man im folgenden auf die Bearbeitung alphanumerischer Zeichenfolgen verzichten, indem man die Texte in folgender Weise in Ketten dualer Zahlen verwandelt: für jedes Wort w eines Quants oder Verknüpfers wird eine Zahl n (w) nach der Vorschrift

$$n(w) = \begin{cases} a_{NTB}(w) + 1 & \text{falls w NTB-Wort} \\ a_{NT}(w) + 301 & \text{falls w NT-Wort} \end{cases}$$

ermittelt.
($a_{NTB}$: relative Adresse in der NTB-Liste, $a_{NT}$: relative Adresse in der NT-Liste). Trivialwörter werden dabei übergangen, da später nur noch die Summe ihrer Information in einem Quant bzw. Verknüpfer von Bedeutung ist.

Zusätzlich werden für jedes der so entstehenden "dualen" Quanten bzw. Verknüpfer festgehalten: die Zahl der Wörter, die Zahl der Zeichen (Summe aller Wortlängen) und die Summe der Information aller Trivialwörter dieses Quants bzw. Verknüpfers.

Damit ist der Vorbereitungsteil beendet; alle entstehenden Daten werden auf Externspeicher abgesetzt.

## 5. Linearteil (Teil 3)

Der Linearteil kann in folgende Abschnitte zerlegt werden:

A Einlesen und Verarbeiten der Parameter
B Auswahl eines Lehrquants
C Auswahl eines zum Lehrquant passenden Verknüpfers
D Simulation der Adressaten (Neuberechnung der $p_{IST}$-Werte, Informationelle Akkomodation) Entscheidung: Wiederholen/Neueinführen von Begriffen.

### Teil A Parametereingabe

Nach Abschluß des Texteinlese- und Aufbereitungsteils verlangt das Programm beim Eintritt in den eigentlichen, die Lehrschritte des Linearteils generierenden Abschnitt die Eingabe folgender Steuergrößen:

Thema, Datum, Vorbereiche, Nachbereiche, Folgeanweisungen, Istwerte, Sollwerte, Parameter.
Die Reihenfolge, in der die Eingabe erfolgt, ist beliebig. Alle Angaben sind notwendig. Das Fehlen einer solchen Angabe führt zu einer Fehlermeldung.

Bedeutung der Eingaben

Istwerte

Jedem Basaltext muß eine Vorkenntniszahl $p_{IST}$ zugeordnet werden. ($0 < p_{IST} < 1$).

$p_{IST}$ gibt die Wahrscheinlichkeiten an, mit der dem Adressaten der Sachverhalt dieses Basaltextsatzes vor Durcharbeiten des Lehrprogramms bekannt ist; d.h. welchem Prozentsatz der Adressaten bei einem Vortest diese Aussage nachprüfbar geläufig ist.
Die $p_{IST}$-Werte werden in der Reihenfolge der Eingabe den Basaltextsätzen zugeordnet.

Sollwerte

Sie definieren das Ziel des Lehrprogramms. Bezüglich Bedeutung und Eingabe gilt sinngemäß das Vorstehende.

Parameter

Das dem Rechnerprogramm zugrundeliegende Psychostrukturmodell erfordert die Angabe folgender Größen:

| | |
|---|---|
| TAUAK | "Trägheitskonstante" der informationellen Akkomodation. Richtwert: 0,92, Eingabe (multipliziert mit 1000) : 920 |
| $C_k$ | Apperzeptionsgeschwindigkeit Richtwert 16 (bit/sec) |
| $C_{vk}$ | Übergangsgeschwindigkeit vom vorbewußten Gedächtnis zum Kurzspeicher. Richtwert: 0,65 (bit/sec), Eingabe: (multipliziert mit 1000): 650 |
| $K_{vk}$ | Kapazität des Kurzgedächtnisses Richtwert: 1800 bit |

Vorbereiche

Zu jedem Verknüpfer können als sogenannter Vorbereich die Nummern der Quanten angegeben werden, auf die dieser Verknüpfer im Lehrschritt folgen darf. Die Quantennummern können auch mit negativem Vorzeichen versehen sein. Die Angaben -n bedeutet dann: alle Quanten außer Quant n. Die Eingabe hat pro Verknüpfer die Form:

"Verknüpfernummer": n1, n2, n3, ... ;

Die Quantennummern n1, n2, ... müssen entweder alle positiv oder alle negativ

sein und - wie auch die Verknüpfernummern - in aufsteigender Reihenfolge geschrieben sein. Ist zu einem Verknüpfer kein Vorbereich angegeben, so wird die gesamte Quantenmenge (ohne erstes und letztes Quant) als Vorbereich betrachtet.

Soll zu keinem Verknüpfer der Vorbereich eingeschränkt werden, so hat die Vorbereichs-Eingabe die Form:

Vorbereiche : Frei;

N a c h b e r e i c h e

Zu jedem Verknüpfer sind maximal fünf Auswahlantworten oder Reaktionen und entsprechend maximal fünf verschiedene Fortsetzungen des Lehrprogramms vorgesehen. (Verzweigungen). Zu jedem dieser fünf möglichen Ausgänge aus dem Lehrschritt kann ein sogenannter Nachbereich definiert werden.
Der Nachbereich gibt an, welche Quanten bei der entsprechenden Antwort im nächsten Lehrschritt erscheinen dürfen. Für den linearen Durchlauf (kürzester Lehrweg) muß überdies die richtige Antwort als "Gradient" gekennzeichnet werden. Zu jedem Verknüpfer muß also wenigstens der Gradient G ($1 \leq G \leq 5$) angegeben werden. Sollen darüber hinaus noch die Nachbereiche eingeschränkt werden, so hat die Eingabe pro Verknüpfer die folgende Form:

$$G/n1,\ n2,\ \ldots\ /n_i,\ n_j,\ \ldots\ /n_k,\ n_l\ \ldots\ /n_m,\ n_n,\ \ldots/n_o, n_p, \ldots\ /;$$

Die zwischen den Schrägstrichen stehenden Zahlen geben die bei dem entsprechenden Ausgang zulässigen Quanten an.

F o l g e a n w e i s u n g e n

Zu jedem Quant kann angegeben werden, ob es bestimmte andere Quanten zur Voraussetzung hat. Es ist also möglich anzugeben, daß Quant N nur erscheinen darf, wenn

Quant I oder Quant K oder ...

bzw.

Quant L und Quant M und ...   schon dargeboten worden sind.

Die Eingabe hat die Form

"Quantennummer": $n_1$, $n_2$, $n_3$ ...; bei Verknüpfung mit "oder"
bzw. "Quantennummer": $n_1+n_2+n_3+\ldots$; bei Verknüpfung mit "und"

Soll keine Folgeanweisung zu irgendeinem Quant gegeben werden, so hat die Eingabe die Form:

Folgeanweisung: Frei;

### Thema und Datum

Diese Angaben haben nur für das Protokoll Bedeutung. Thema und Datum sollten nicht länger als 12 Zeichen sein.

Sind diese vorstehend beschriebenen Parametereingaben formal fehlerfrei, so erfolgt nach Einlesen in den Rechner die Ausgabe eines kurzen Programmprotokolls über den Hauptblattschreiber der Anlage.

Die weiteren Programmteile (B, C, D) werden solange zyklisch durchlaufen, bis alle nichttrivialen Basaltextwörter eingeführt sind und ihr $p_{IST}$-Wert mindestens so groß wie der $p_{SOLL}$-Wert ist.

### Teil B   Auswahl eines Quants

Bei der Auswahl eines Quants wird die Menge der verfügbaren Quanten nach folgenden Gesichtspunkten schrittweise eingeschränkt:

a) welche Quanten sind gemäß Nachbereich des vorangegangenen Verknüpfers zulässig?
b) welche von diesen sind unter Berücksichtigung der Folgeanweisungen noch zulässig?
c) welche von den verbleibenden Quanten enthalten (gemäß der Abfolge im Basaltext) die nächsten N noch nicht eingeführten Basaltextwörter;
($N > 1$)?
Hier ist erkennbar, daß sich COGENDI bei der Reihenfolge der Einführung neuer Begriffe an deren Abfolge im Basaltext orientiert. Damit spiegelt das Lehrprogramm in gewissen Grenzen die semantische Struktur des Basaltextes wider.
d) welche von diesen enthalten möglichst wenige zusätzliche noch nicht eingeführte Wörter?
e) welches von den verbleibenden Quanten hat einen optimalen Informationsfluß (d.h. für welches Quant liegt die Information pro Zeichen möglichst nahe bei 1 bit.)?

In der Wiederholungsphase (s. Teil D) lautet c)
c)' welche von den verbleibenden Quanten enthalten das zu wiederholende Wort?

### Teil C   Auswahl eines Verknüpfers

Das Prinzip der Auswahl eines zum Lehrquant passenden Verknüpfers läßt sich durch folgende Abfragen verdeutlichen:

a) welche Verknüpfer enthalten das vorangegangene Quant im Vorbereich?
b) welche von diesen Verknüpfern haben mit dem Quant möglichst viele nichttriviale Wörter gemeinsam?
c) welche von den verbleibenden Verknüpfern enthalten keine neuen, also noch nicht eingeführte nichttriviale Basaltextwörter?

d) welche von den verbleibenden Verknüpfern sind mit dem vorangegangenen Quant noch nicht gemeinsam in einem Lehrschritt aufgetreten?

Stehen auf dieser Stufe der Entscheidungen noch mehrere Verknüpfer zur Verfügung, so erfolgt die endgültige Auswahl per Zufall.

Sind auf diese Weise Quant und Verknüpfer des nächsten Lehrschritts ermittelt, so erfolgt die Ausgabe einer sogenannten Lehrschrittform:

Beispiel:

LS. NR. 7 (Q 12, V 28 / 2)

Lehrschritt-Nr. → LS. NR. 7; Quant → Q 12; Verknüpfer → V 28; Gradient → 2

Teil D

Es werden zunächst berechnet

(1) $$i_{ges} = \left( \sum_{NT \in y} i_{NT} + \sum_{T \in y} i_T \right) \cdot 0,75$$

die Gesamtinformation des Lehrschritts y, die sich zusammensetzt aus der Summe der (durch informationelle Akkomodation veränderlichen) Information $i_{NT}$ der nichttrivialen Wörter aus y und der Summe der Trivialwortinformationen $i_T$.

(2) $$Z = \frac{i_{ges}}{C_k}$$

die zeitliche Lehrschrittlänge.

(3) $$M = \sum_{NT \in y} \frac{1}{i_{ges}} \left(i_{NT} \cdot 0,75\right)^2$$

der Erwartungswert der pro ausgewähltem Zeichen weitergegebenen Information.

(4) $$N = \left[ \frac{C_{vk} \cdot Z}{M} \right]$$

die Zahl der während der Darbietung von y ausgewählten Zeichen.

Es erfolgt die Neuberechnung der $p_{IST}$-Werte aller im Lehrschritt aufgetretenen nichttrivialen Basaltextwörter. Dazu wird für jedes solche Wort die Auffälligkeit

(5) $$a = \frac{i_{NT} \cdot 0,75}{i_{ges}}$$

bestimmt und der neue $p_{IST}$-Wert berechnet nach:

(6) $$p_{IST} = p_{IST} \cdot e^{-\frac{c_{vk}}{K_{vk}} z} \cdot (1 - a)^N + 1 - (1 - a)^N$$

Es schließt sich an die Neuberechnung der subjektiven Wahrscheinlichkeit $p_w$ für alle nichttrivialen Wörter aus Basaltext, Quanten und Verknüpfer (Informationelle Akkomodation).

Es gilt

(7) $$p_w = \text{TAUAK} \cdot (p_w - \frac{n_w}{|y|}) + \frac{n_w}{|y|}$$

wobei $|y|$ die Länge des Lehrschritts in Zeichen, $n_w$ die Häufigkeit des Wortes w im Lehrschritt, TAUAK die "Trägheitskonstante" der informationellen Akkomodation bezeichnet.

Die Entscheidung Wiederholen/Neueinführen von Begriffen wird durch die Bedingung

(8) $$p_{IST} < \sqrt[E]{\frac{H}{H_{MAX}}} \cdot p_{SOLL}$$

geliefert.

Dabei ist $H_{MAX}$ die Gesamtzahl der nichttrivialen Basaltextwörter, H die Zahl der davon im Lehrprogramm bereits angebotenen Wörter und E ($1 \leq E < 4$) ein wählbarer Exponent, der die Steilheit des Begriffsfortschritts steuert.

Wird Bedingung (8) von bereits angebotenen NTB-Wörtern erfüllt, so wird das Wort mit maximalen

$$\sqrt[E]{\frac{H}{H_{MAX}}} - \frac{p_{IST}}{p_{SOLL}}$$

wiederholt.

Andernfalls wird im nächsten Lehrschritt ein neuer Begriff eingeführt.

Der Lineartteil endet, wenn kein NTB-Wort mehr existiert, das Bedingung (8) erfüllt und $H = H_{MAX}$ ist.

## 6. Nichtlinearteil (Teil 4)

Der Nichtlinearteil gliedert sich in folgende Abschnitte:

A Übernahme der Parameter und Dateien aus dem Linearteil

B Auswahl eines Lehrquants

C Abfrage auf Rücksprungmöglichkeiten in den Linearteil oder in Verzweigungen

D Auswahl eines zum Lehrquant passenden Verknüpfers

Bezeichnungen:

$\Lambda$ : Gerade bearbeitete Lehrschrittform (LSFO)

$\Omega_0$ : LSFO des Linearteils

| | |
|---|---|
| $\Omega_1$ | : LSFO der 1. Verzweigung |
| $\Omega_2$ | : LSFO der 2. Verzweigung |
| $\Omega_3$ | : LSFO der 3. Verzweigung |
| ZWA0 | : Verzweigungsanfang $\Omega_1^1$ von $\Omega_0$ ausgehend |
| ZWA1 | : Verzweigungsanfang $\Omega_2^1$ von $\Omega_1$ ausgehend |
| ZWE0 | : Verzweigungsende $\Omega_1^i$ für eine Kette $\{\Omega_1^i\}$ von $\Omega_0$ ausgehend (i = 1,2,3,4) |
| ZWE1 | : Verzweigungsende $\Omega_2^j$ für eine Kette $\{\Omega_2^j\}$ von $\Omega_1$ ausgehend (j=1,2) |
| $D_0$ | : Durchschnitt des Linearteils, d.h. Anzahl der LSFO im Linearteil |
| $D_1$ | : $D_0$ + (Anzahl der LSFO in der 1. Verzweigung) |
| $D_2$ | : $D_1$ + (Anzahl der LSFO in der 2. Verzweigung) |

A Parameterübernahme

Der Nichtlinearteil stellt ein in sich abgeschlossenes Programm dar, welches aber nur im Anschluß an den Linearteil sinnvoll ablaufen kann. Das Programm baut auf Informationen auf, die im Linearteil anfallen, insbesondere auf Zustände der Speicher, die sich beim Generieren der Lehrschritte im Linearteil ergeben.

Neu erstellt werden Merkspeicher für die Anfangs- und Endzustände der Verzweigungsketten $\{\Omega_1^i\}$ und $\{\Omega_2^j\}$, die von $\Omega_0$ bzw. $\Omega_1$ ausgehen.

Danach müssen über ein Eingabegerät Angaben über die Anzahl n der erlaubten Rücksprunglehrschritte im Linearteil gemacht und Anweisung zum unbedingten Vorwärts- bzw. Rücksprung gegeben werden.

B Auswahl eines Lehrquants

Im Durchführungsteil erfolgt zunächst die Abfrage, ob die maximal 5 möglichen Ausgänge der Lehrschrittform (LSFO) $\Lambda$ schon besetzt sind. Die Bearbeitung erfolgt in der Reihenfolge

1. $\Lambda \in \{\Omega_0^k\} \qquad 1 \leq k \leq D_0$
2. $\Lambda \in \{\Omega_1^l\} \qquad D_0+1 \leq l \leq D_1$
3. $\Lambda \in \{\Omega_2^m\} \qquad D_1+1 \leq m \leq D_2$

Hat die obige Abfrage ein negatives Ergebnis, so führt der nächste Schritt zur Auswahl eines Lehrquants unter folgenden Gesichtspunkten:

1) welche Quanten sind gemäß des Nachbereichs des vorangegangenen Verknüpfers zulässig,

2) welche von diesen Quanten sind unter Berücksichtigung der Folgeanweisungen noch zulässig,

3) von diesen zulässigen Quanten wird der Wortfortschritt festgestellt durch Absuchen der Basaltextworte im C-Speicher auf Markierung, (die Worte sind dann markiert, wenn sie in früheren Lehrschritten schon aufgetreten sind),

4) von diesen werden die Quanten mit geringstem Wortfortschritt i (i = 0, 1, ...) ausgesondert,

5) Bei i = 0 werden dann nur die Quanten berücksichtigt, die mit dem vorangegangenen Verknüpfer maximalen NT-Wert-Durchschnitt aufweisen.
6. a) Im Falle i = 0 wird zunächst die Information der einzelnen Quanten berechnet und daraufhin werden die Quanten mit steigender Information abgespeichert.
6. b) Im Falle i ≠ 0 wird das Quant optimaler Information ermittelt.

C Abfrage auf Rücksprungmöglichkeiten

Mit dem unter B ermittelten Quant optimaler Information wird in vorangegangenen Lehrschritten geprüft, ob es dort schon einmal aufgetreten ist. Dabei geht das Programm nach folgendem Schema vor:

A) Kommt das Quant in einem Lehrschritt der Nummer L vor mit

1. $\Omega_o - n \leq L < \Omega_o$ ($n \leq D_0$ frei wählbar, siehe Abschnitt A)
wenn JA, erfolgt Rücksprung nach dem maximalen Lehrschritt L in den linearen Teil, sonst
2. Abfrage: kommt das Quant in einem Lehrschritt der Nummer L vor mit

$$\Omega_1 = \text{ZWA0} \leq L \leq \text{ZWE0}$$

wenn JA, erfolgt Rücksprung in die erste Verzweigung, die von $\Omega_o^k$ ausgeht, sonst
3. Abfrage: kommt das Quant in einem Lehrschritt der Nummer L vor mit

$$\Omega_2 = \text{ZWA1} \leq L \leq \text{ZWE1}$$

wenn JA, dann wird in die zweite Verzweigung zurückgesprungen, sonst muß

B) im Falle von i = 0 das Quant nächst höhere Information gewählt und A) wieholt werden.

Ist mit allen Quanten des Wortfortschritts i = 0 kein Rücksprung möglich, so wird von ihnen das Quant minimaler Information zur Weiterbearbeitung ausgewählt und wie im Falle i ≠ 0, wenn kein Rücksprung war, weiterverfahren.

D Auswahl eines zum Lehrquant passenden Verknüpfers

Durch entsprechende Abfragen, wie sie im Linearteil unter C) beschrieben sind, wird ein zum Lehrquant passender Verknüpfer gesucht. Der sich ergebende neue Lehrschritt der Verzweigungen wird in die Reihe der schon vorhandenen LSFO eingeordnet, um später auf die gleiche Weise wie die Lehrschritte des Linearteils bearbeitet werden zu können.

Von dem Grad der Verzweigung und der Anzahl der innerhalb dieser Verzweigung generierten Lehrschritte hängt es nun ab, ob der Zyklus B) fortgeführt wird, um aus dem Nachbereich des Gradienten ein geeignetes Quant zur Weiterverarbeitung auszusuchen.

Die Anzahl der Lehrschritte ist in den Verzweigungen beschränkt in folgender Weise:

1. Verzweigung : 4 neue Lehrschritte von $\Omega_o^k$ ausgehend

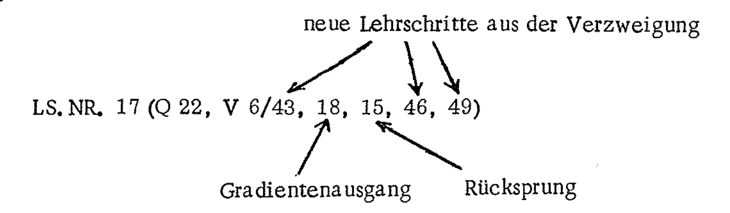
2. Verzweigung : 2 neue Lehrsbhritte von $\Omega_1^L$ ausgehend
3. Verzweigung : 1 neuer Lehrschritt von $\Omega_2^m$ ausgehend

mit $2 \leq k \leq D_0$
$D_0 + 1 \leq L \leq D_1$
$D_1 + 1 \leq m \leq D_2$

Ist die jeweilige Anzahl erreicht, so wird ein Vorwärtssprung oder Rücksprung je nach Anweisung zu Beginn des Programmablaufs, auf eine Verzweigung nächst niedriger Ordnung erzwungen, indem alle Ausgänge mit einem Lehrschritt besetzt werden, der bei richtiger Beantwortung des letzten Lehrschritts aus der Verzweigung (n - 1) ter Ordnung (n = 1,2,3) durch den Gradientenausgang hervorging.

Daran anschließend erfolgt ein Rücksprung nach A). Sind alle Ausgänge des bearbeiteten Lehrschritts besetzt worden, so erfolgt der Ausdruck des Lehrschritts in der LEHRSCHRITTFORM:

Beispiel:




Im Anschluß wird Teil A) mit dem nächsten Lehrschritt aus der Menge $\Omega_0$ bzw. $\Omega_1$ bzw. $\Omega_2$ durchgeführt.

7. Ausgabe des Lehrprogramms (Teil 5)

Für die Ausgabe des Lehrprogrammtextes stehen zur Zeit zwei Programme zur Verfügung. Das erste gibt die Lehrschritte des Linearteils mit Urteilen fortlaufend numeriert bei wählbarer Breite im Blocksatz aus.

Das zweite Programm erlaubt, den Linearteil und Nichtlinearteil des Lehrprogramms in Buchform auszugeben:

1. Halbseite Quant, Verknüpfer
2. Halbseite Urteil und Verweise auf die Folgelehrschritte

Ausgabeformat: linkszentrierter Flattersatz.

8. Ausblick

Entwurf und Entwicklung der formalen Didaktik COGENDI wurde seit 1965 von der Stiftung Volkswagenwerk gefördert. 1967 wurde die praxisorientierte Weiterentwicklung dieser Formaldidaktik (zusammen mit der vollalgorithmischen Formaldidaktik ALZUDI in das Förderungsprogramm "Datenverarbeitung" des Bundesministeriums für wissenschaftliche Forschung aufgenommen. Dabei wird

insbesondere die Wirksamkeit cogendigenerierter Lehrprogramme empirisch geprüft. Über die Ergebnisse wird zu einem späteren Zeitpunkt berichtet werden.

## Schrifttumsverzeichnis

Frank, Helmar — Ansätze zum algorithmischen Lehralgorithmieren. In: H. Frank (Hsg.): Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht 4, Klett, Stuttgart, und Oldenbourg, München, 1966

Eingegangen am 12.10. 1968

Anschrift der Verfasser:
1 Berlin 46, Malteserstr. 74-100, Institut für Kybernetik

# DIAGRAMM-ALZUDI ALS ERWEITERUNG DES ANWENDUNGSBEREICHES RECHNERERZEUGTER LEHRPROGRAMME

von Klaus Weltner, Osnabrück

Frank hat 1966 den Entwurf einer formalen Didaktik vorgelegt. Er gab ein formales System an, einen Lehralgorithmus L als Funktion der fünf Variablen
Lehrziel
Lehrstoff
Medium
Psychostruktur
Soziostruktur
darzustellen. Als Beispiel einer formalen Didaktik entwickelte Frank 1967 ALZUDI (Algorithmisierte Zuordnungsdidaktik) (Frank, 1967).

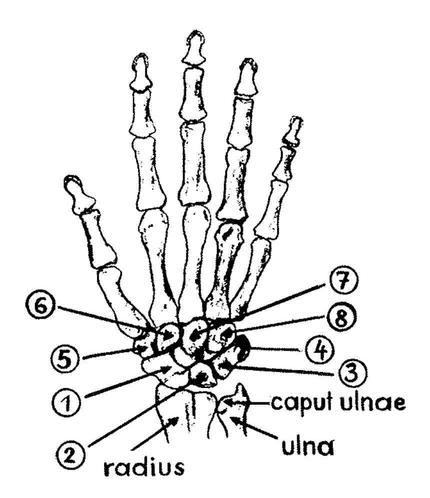
Frank und Graf erstellten für diese Didaktik ein Rechnerprogramm für den Prozeßrechner Siemens 303 P, das es gestattet, Lehrprogramme voll-algorithmisch erzeugen zu lassen (Frank, Graf 1967).

In diesem Fall ist das Lehrziel wie folgt definiert:
Den Elementen einer Menge $\mathfrak{A}$ sind die Elemente einer Menge $\mathfrak{B}$ eindeutig zugeordnet. Dem Lernsystem seien die Elemente der Menge $\mathfrak{A}$ bekannt. Unbekannt und einzulernen seien die Elemente der Menge $\mathfrak{B}$ und die Zuordnung der Elemente.
Einfachste Beispiele:
Deutsche Begriffe und ihre englischen Übersetzungen, Fachausdrücke und die dazugehörigen Begriffsdefinitionen, Länder und die dazugehörigen Hauptstädte usw.

In jedem Fall muß eine Zusammenfassung des Lehrstoffes in Form eines Basaltextes sowie die sprachlichen Grundformen für die Lehrquanten und Fragen vorgegeben werden.

Der auf den ersten Blick sehr begrenzte Anwendungsbereich dieser formalen Didaktik ALZUDI läßt sich nun erheblich erweitern, wenn man dazu übergeht, die einzulernenden Elemente nicht nur sprachlich vorzugeben, sondern auch durch Diagramme oder Zeichnungen zu definieren und zu bestimmen. In diesem erweiterten Fall wird ein einzulernendes Element in der Zeichnung durch seine Form oder Gestalt bestimmt. Über das Lehrprogramm wird dann neben dem Namen des Elementes auch seine Gestalt eingelernt.

Beispiel: Es seien die Namen sowie die Lage und die Form der Knochen des menschlichen Skeletts einzulernen. Dies ist eine für den Medizinstudenten sehr




umfangreiche Aufgabe. Sie kann in Teilziele aufgelöst werden. Ein solches Teilziel sei, die Lage und die Form der Handwurzelknochen sowie deren lateinische Namen zu lernen.

Anhand einer Zeichnung der Handwurzelknochen werden die einzelnen Knochen durch Zahlen codiert und durch eine Zwischenzuordnung der lateinischen Namen zu den Zahlen einerseits und den durch die Zeichnung definierten Knochen andererseits sowohl die Namen wie die Lage der einzelnen Handwurzelknochen einander zugeordnet. Auch ein derartig erweitertes Lehrprogramm läßt sich vollalgorithmisch herstellen. Damit lassen sich durch Kombination mit Diagrammen und Zeichnungen weite Bereiche topographischen Lernens im Bereich der Medizin, der Biologie und der Technik erschließen.

Für die Erstellung des Programms benötigt man im Basaltext zusätzlich die Verknüpfungen zwischen den einzelnen Elementen und die Zwischencodierung. Dieses Material wird vom Rechner verarbeitet. Das Diagramm muß außerdem vorliegen und geht bei dieser Form nicht in den Prozeß der Erzeugung des Lehrprogramms ein. Für diese erweiterte Fassung der formalen Didaktik ALZUDI schlagen wir den Namen "DIAGRAMM-ALZUDI" vor. Als Beispiel möge eine Sequenz aus dem Programm Handwurzelknochen angeführt werden.

Nr. 10
Zur ossa carpi proximalia gehört auch das dreieckige Bein.
´Das dreieckige Bein´ hat den Namen ´os triquetrum´.
Welchen lateinischen Namen hat ´das dreieckige Bein´?
Antwort: ________________ (os triquetrum)

Nr. 11
Die Lage des ´os lunatum´ gibt die Zahl ´2´ an.
Welchen lateinischen Namen hat die Handwurzel?
Antwort: ________________ (carpus)

Nr. 12
Das dreieckige Bein finden Sie an der Stelle ´3´.
Das dreieckige Bein steht nicht in gelenkiger Verbindung mit der ulna, sondern mit einer Bandscheibe (hier nicht gezeichnet), die es vom caput ulnae trennt.
An welcher Stelle liegt ´das dreieckige Bein´?
Antwort: ________________ (´3´)

Nr. 13
´os triquetrum´ heißt im deutschen ´das dreieckige Bein´.
Wie lautet die deutsche Bezeichnung von ´os triquetrum´?
Antwort: ________________ (das dreieckige Bein)

Nr. 14
´carpus´ heißt im deutschen ´die Handwurzel´.
Welcher Knochen (deutsche Bezeichnung) liegt an der Stelle ´3´?
Antwort: ________________ (das dreieckige Bein)

(Diese Arbeit konnte im Rahmen des Projekts Telealzudi durchgeführt werden, das vom Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung im Förderungsprogramm für die Datenverarbeitung unterstützt wird.)

Schrifttumsverzeichnis

Frank, H. — Ansätze zum algorithmischen Lehralgorithmieren In: Frank (Hsg.) Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht IV, 1966, Klett-Oldenbourg, Stuttgart - München

Frank, H.
Graf, K.-D. — ALZUDI - Beispiel einer formalen Didaktik Zeitschrift für Erziehungswissenschaftliche Forschung, 1. Jahrg., 1967, Heft 1, S. 27-34

Eingegangen am 25. Juli 1968

Anschrift des Verfassers:
Prof. Dr. Klaus Weltner, 45 Osnabrück, Delmenhorster Weg 2

## EMPIRISCHE UNTERSUCHUNG ZUM GEDÄCHTNISMODELL DER INFORMATIONSPSYCHOLOGIE

von Angelika Wagner, Bonn (bzw. Ann Arbor)

Im Rahmen der Informationspsychologie hat H. Frank (1960, 1961, 1962, 1964) ein Gedächtnismodell entwickelt. Frank geht davon aus, daß der menschliche Organismus aufgenommene Reize binär codiere (1962) und legt deshalb das Shannon-Wienersche Informationsmaß als für Lernprozesse relevante Maßeinheit zugrunde. Gedächtnis faßt Frank als Speicher mit konstanter Zuflußkapazität und begrenzter Speicherkapazität auf. Durch das Einströmen neuer Informationen werden ältere Gedächtnisinhalte "verdrängt", d.h. vergessen (Frank, 1964).

Dem Bewußtsein entspricht ein Kurzspeicher mit einer Zuflußkapazität von 16 bit/sec, der Informationen maximal 10 Sekunden festhält.

Das vorbewußte Gedächtnis besteht nach Franks Modell (1964) aus zwei hintereinander geschalteten Speichern, dem Kurzgedächtnis mit einer Kapazität von 1000 - 2000 bit und dem Langgedächtnis, das etwa $10^5$ bis $10^8$ bit faßt. Ein Teil der zunächst im Kurzspeicher festgehaltenen Informationen fließt ins Kurzgedächtnis, wovon wiederum ein Teil später ins Langgedächtnis aufgenommen wird. Die Zuflußkapazität des Kurzgedächtnisses und damit des vorbewußten Gedächtnisses beträgt nach Frank etwa das Zehnfache von der des Langgedächtnisses. Die von Frank (1959, 1962, 1964) zitierten Experimente lassen schließen, daß sie zwischen 0,1 und 0,7 bit/sec variiert. (Aborn und Rubinstein (1952) fanden, daß in drei Minuten 29 bit oder durchschnittlich 0,16 bit/sec gelernt werden. Die Untersuchung von Miller (1958), die v. Cube (1965 a) anführt, ergibt eine Zuflußgeschwindigkeit von 0,09 bit/sec - in einer Gesamtlernzeit von 450 sec wurden 41 bit gelernt - . Aus Millers und Selfridges Artikel lassen sich keine Schlüsse ziehen, da in diesem Artikel keine genaue Angabe über die Länge der Darbietungszeit und damit der Lernzeit gemacht werden (1)). Die vorliegende Untersuchung wird eine mögliche Ursache für diese Differenz zwischen Zuflußgeschwindigkeiten aufweisen.

---

(1) Wie Prof. Miller mitteilt, ist es nicht mehr möglich, die genaue Darbietungszeit zu ermitteln.

## Bisher vorliegende Untersuchung

Die meines Wissens bisher einzige experimentelle Untersuchung zum Problem der Zuflußgeschwindigkeit des vorbewußten Gedächtnisses wurde von F. v. Cube und R. Gunzenhäuser (1961) durchgeführt. V. Cube und Gunzenhäuser ließen Gymnasialschüler Zufallsziffernfolgen auswendiglernen und fanden bei Lernzeiten bis zu 40 Sekunden eine Zuflußgeschwindigkeit von 0,7 bit/sec für das vorbewußte Gedächtnis bestätigt; lediglich in den ersten zehn Sekunden verlaufe die Speicherung nicht linear.

Die grundsätzliche Schwierigkeit bei der Bestimmung der Zuflußkapazität des vorbewußten Gedächtnisses liegt darin, zwischen im Kurzspeicher festgehaltener und im vorbewußten Gedächtnis gespeicherter Information zu unterscheiden. V. Cube ging davon aus, daß der Kurzspeicher Information - ohne erneute Darbietung - nicht länger als zehn Sekunden festhalten kann und ließ deshalb die Versuchspersonen nach Ende der Darbietung 15 Sekunden warten, bevor sie die behaltenen Ziffern niederschrieben. Daß alle nach dieser "Wartezeit" reproduzierten Ziffern im vorbewußten Gedächtnis gespeichert worden seien, sieht v. Cube dadurch bestätigt, daß die Versuchspersonen nach weiteren 25 Sekunden ohne erneute Darbietung nur geringfügig weniger Ziffern reproduzierten als beim ersten Niederschreiben (1961).

Allerdings läßt diese Versuchsanordnung keine eindeutige Entscheidung zu. Falls ein Teil der beim ersten Mal niedergeschriebenen Ziffern nur im Kurzspeicher gespeichert worden war, so bot die Reproduktionszeit Gelegenheit, auch diese Ziffern in das vorbewußte Gedächtnis aufzunehmen oder erneut in den Kurzspeicher einfließen zu lassen. Diese Vermutung wird dadurch unterstützt, daß in 40 Sekunden nur 8,8, in viermal 10 Sekunden jedoch 14,1 Ziffern (v. Cube, Gunzenhäuser 1961) gelernt wurden. Wenn sie richtig ist, so ergibt sich aus dem Anstieg der v. Cube aufgewiesenen Lernkurve eine Zuflußgeschwindigkeit von nur 0,24 bit/sec.

## Fragestellung und Hypothesen

In der vorliegenden Untersuchung sollte zunächst die Frage geklärt werden, ob die Dauer des Kurzspeichers auf 10 Sekunden begrenzt ist. In diesem Fall müßten beim unmittelbar anschließenden Niederschreiben signifikant mehr Ziffern reproduziert werden als nach 15 Sekunden "Wartezeit".

Außerdem benutzte v. Cube nur Lernzeiten bis maximal 40 Sekunden; deshalb sollte geprüft werden, ob der Betrag der gespeicherten Information auch bei

längeren Lernzeiten linear ansteigt, wie es Frank annimmt. Aus der Hypothese einer konstanten Zuflußkapazität folgt weiter, daß die Speicherungsgeschwindigkeit auch durch Übung nicht zu vergrößern ist. Außerdem nimmt Frank (1962, S. 110) an, daß sie nicht von der Intelligenz der Versuchspersonen abhänge.

Insgesamt ergeben sich aus dem Gedächtnismodell von H. Frank folgende Hypothesen, die im vorliegenden Versuch empirisch untersucht werden sollten:

1. Nach 10 Sekunden Lernzeit werden beim unmittelbar anschließenden Niederschreiben der behaltenen Ziffern mehr als 6, 6 Ziffern (v. Cubes Ergebnis) wiedergegeben.
2. Der Betrag der im vorbewußten Gedächtnis gespeicherten Information nimmt mit wachsender Lernzeit linear zu.
3. Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Intelligenz der Versuchspersonen und dem Betrag der gespeicherten Information.
4. Die Zuflußgeschwindigkeit des vorbewußten Gedächtnisses ist unabhängig von der Anzahl vorhergehender ähnlicher Versuche, d.h. sie läßt sich durch Übung nicht vergrößern.
5. Es besteht kein Zusammenhang zwischen dem Geschlecht der Versuchspersonen und dem Betrag der gespeicherten Information.

Vorgehen

Die Untersuchung bestand aus einer Folge von Lernversuchen mit 10, 30, 60, 180 und 300 Sekunden Lernzeit, die unmittelbar nacheinander als Gruppenversuch durchgeführt wurden. (In Vorversuchen hatte sich gezeigt, daß dies ohne zu große Ermüdung der Versuchspersonen möglich ist.)

Als Lernmaterial wurden Zufallsziffernfolgen gewählt, die nach Tabellen von Geigy (1960) derart zusammengestellt wurden, daß jede Ziffer von 0 bis 9 gleich häufig auftrat und dieselbe Ziffer nicht mehr als zweimal unmittelbar nacheinander erschien. Die Folgen für die kürzeren Lernzeiten bis 60 Sekunden einschließlich bestanden aus 20, die übrigen aus 40 Ziffern. Die Ziffernfolgen wurden jeweils mit Hilfe eines Episkops optisch in ein oder zwei Reihen zu 20 Ziffern ohne jede weitere Gliederung eine bestimmte Zeitlang dargeboten. Anschließend schrieben die Versuchspersonen die behaltenen Ziffern auf.

In der Versuchsanweisung wies der Versuchsleiter darauf hin, daß die Ziffern "wie Telefonnummern" in der richtigen Reihenfolge wiederzugeben seien.

An einen Vorversuch mit 10 Sekunden Lernzeit schlossen sich fünf solche Ver-

suche mit unterschiedlicher Lernzeit an, wobei die Versuchspersonen jedesmal über die ihnen zur Verfügung stehende Zeit informiert wurden. Um einen möglichen Übungseffekt zu erfassen, wurden zwei Versuchsformen mit unterschiedlicher Reihenfolge der Einzelversuche benutzt:

Versuchsform "A": 10 - 30 - 60 - 180 - 300 Sekunden
Versuchsform "B": 300 - 180 - 60 - 30 - 10 Sekunden

Jeder Lernzeit wurde ein bestimmtes Lernmaterial zugeordnet um zu verhindern, daß mögliche Unterschiede zwischen den Versuchsformen und Versuchsgruppen auf Unterschiede zwischen verschiedenen Ziffernfolgen zurückzuführen sind.

An der vorliegenden Untersuchung nahmen 211 Schüler des achten Schuljahres aus verschiedenen Hamburger Schulen teil. Um den Faktor der Intelligenz annähernd zu erfassen, wurden für diese Untersuchung jeweils zwei Klassen der Hilfsschule (36 Vpn), Volksschule (70 Vpn), Mittelschule (60 Vpn) und des Gymnasiums (45 Vpn) ausgewählt, so daß an jeder Versuchsform vier Gruppen mit insgesamt 97 bzw. 114 Vpn teilnahmen. Zu jeder Klasse gehörten sowohl männliche als auch weibliche (insgesamt 107 bzw. 104) Vpn. Das Durchschnittsalter betrug 14 Jahre.

Am Ende des Versuchs wurden die Versuchspersonen gebeten, sich schriftlich dazu zu äußern, "wie ihr die Zahlen gelernt habt".

## Ergebnisse

Bei der Auswertung wurden die schriftlich reproduzierten Ziffern als richtig gewertet, wenn mindestens zwei Ziffern in der richtigen Reihenfolge wiedergegeben wurden oder sich eine Ziffer an eine solche "richtige" Folge anschloß, wobei nur eine Ziffer ausgelassen oder fälschlicherweise dazwischengeschoben wurde; ferner Anfangs- und Endziffern, die in der richtigen Position wiedergegeben worden sind.

Die durchschnittliche Anzahl der behaltenen Ziffern ist aus der folgenden Tabelle ersichtlich; M bedeutet arithmetischer Mittelwert und s Standardabweichung (Guilford 1956).

Versuchsform "A":

| | 10 sec | | 30 sec | | 60 sec | | 180 sec | | 300 sec | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | M | s | M | s | M | s | M | s | M | s |
| Hilfsschule | 6,35 | 2,1 | 5,7 | 1,55 | 7,0 | 2,76 | 11,2 | 5,82 | 12,4 | 4,97 |
| Volksschule | 5,5 | 2,1 | 7,03 | 2,57 | 12,2 | 2,43 | 17,8 | 6,54 | 20,3 | 5,08 |
| Mittelschule | 6,2 | 1,66 | 7,3 | 2,45 | 11,1 | 2,97 | 18,1 | 6,00 | 21,0 | 8,13 |
| Oberschule | 6,4 | 1,86 | 9,2 | 2,25 | 12,2 | 3,16 | 21,1 | 5,05 | 26,2 | 8,1 |

Versuchsform "B":

| | 10 sec | | 30 sec | | 60 sec | | 180 sec | | 300 sec | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | M | s | M | s | M | s | M | s | M | s |
| Hilfsschule | 5,35 | 1,87 | 4,68 | 2,23 | 7,35 | 5,2 | 13,5 | 6,20 | 14,1 | 5,87 |
| Volksschule | 5,7 | 1,99 | 7,5 | 2,37 | 10,45 | 3,33 | 18,1 | 5,00 | 17,4 | 4,71 |
| Mittelschule | 6,2 | 1,45 | 9,1 | 1,92 | 12,03 | 2,83 | 22,33 | 5,5 | 20,8 | 5,55 |
| Oberschule | 6,72 | 2,2 | 9,56 | 2,27 | 11,8 | 3,23 | 21,5 | 5,44 | 20,3 | 5,6 |

Zur 1. Hypothese: Dauer des Kurzspeichers

Bei von Cubes Experiment hatten die Versuchspersonen nach 10 Sekunden Lernzeit und 15 Sekunden "Wartezeit" durchschnittlich 6,6 Ziffern (1961) behalten. In dem vorliegenden Versuch reproduzierte die vergleichbare Gruppe der Gymnasialschüler nach 10 Sekunden Lernzeit unmittelbar anschließend an die Darbietung ebenfalls 6,6 Ziffern. Damit ist die erste Hypothese widerlegt.

Bei den folgenden Aussagen zur Zuflußgeschwindigkeit des vorbewußten Gedächtnisses wird davon ausgegangen, daß die Anzahl der nur im Kurzspeicher festgehaltenen Ziffern bei allen Einzelversuchen - entsprechend dem Frankschen Modell - konstant ist.

Zur 2. Hypothese: Linearität der Speicherung

Der Betrag der gespeicherten Information nimmt mit wachsender Lernzeit nicht linear zu. Die Trendanalyse nach McNemar (1962) ergibt eine hochsignifikante Abweichung vom linearen Anstieg ($F = 34,1$; $p < 0,001$). Betrachtet man jeweils die Zunahme an gespeicherter Information zwischen zwei Lernzeiten, so ergeben sich folgende durchschnittliche Zuflußgeschwindigkeiten bei diesem Versuch:

| zwischen | bit/sec |
|---|---|
| 10 sec - 30 sec | 0,28 |
| 30 sec - 60 sec | 0,34 |
| 60 sec -180 sec | 0,20 |
| 180 sec -300 sec | 0,02 |

Mit zunehmender Lernzeit nimmt die durchschnittliche Speichergeschwindigkeit ab. Insgesamt betrug die durchschnittliche Zuflußgeschwindigkeit während der ersten fünf Minuten 0,15 bit/sec und lag damit unter dem von Frank angenommenen Wert.

Zur 3. und 4. Hypothese:
Einfluß von Intelligenz und Übung

Die Unterschiede zwischen den Schultypen und zwischen den Versuchsformen in der Anzahl der reproduzierten Ziffern werden für jede Lernzeit gesondert entweder mit einer Varianzanalyse oder, wenn dies nicht möglich ist, mit dem t-Test und dem $\chi^2$-Test (Abweichung vom gemeinsamen Mittelwert) geprüft (Guilford, 1956).

In allen Fällen unterscheiden sich die Schüler der verschiedenen Schularten signifikant voneinander in der Anzahl der behaltenen Ziffern (10 sec: $\chi^2 = 8,9; p < 0,05$; 30 sec: ohne Hilfssch. $F = 11,4; p < 0,01$, Hilfssch. $\chi^2 = 8,9; p < 0,01$; 60 sec: $\chi^2 = 18,67; p < 0,01$; 180 sec: $F = 21,37; p < 0,01$; 300 sec: $\chi^2 = 13,93; p < 0,01$). Und zwar reproduzieren die Versuchspersonen durchschnittlich um so mehr Ziffern, je höher ihre -aufgrund der Schulzugehörigkeit geschätzte - Intelligenz ist.

Die unterschiedliche Versuchsanordnung führte nur bei 30 Sekunden (ohne Hilfssch. $F = 5,71; p < 0,05$; Hilfssch. $\chi^2 = 0,71$ n.s.) und 180 Sekunden ($F = 5,26; p < 0,05$) zu signifikanten Unterschieden in der Anzahl der behaltenen Ziffern (10 sec: $\chi^2 = 1,77$; 60 sec ohne Hilfssch. $F = 0,92$, Hilfssch. $t = 0,12$; 300 sec: Hilfssch. $t = 0,21$, Volkssch. $t = 0,497$, Mittelsch. 0,23, Gymnasium $t = 0,79$; alles nicht signifikant). Und zwar behielt jeweils die Gruppe "B", die mit 300 Sekunden Lernzeit begann, signifikant mehr Ziffern als die "A"-Gruppe, vermutlich da die "B"-Gruppe aufgrund des langen Anfangsversuchs mehr Übung hatten. Dies wird auch durch folgendes Phänomen bestätigt:

Schüler, die mit 300 Sekunden Lernzeit begannen, behielten nach 180 Sekunden Darbietungszeit häufig mehr Ziffern als nach 300 Sekunden, obwohl beim zweiten

Lernversuch die absolute Lernzeit kürzer war. Hingegen lernten Schüler der Form "A" bei dem letzten Versuch mit 300 Sekunden häufiger mehr Ziffern als bei dem vorhergehenden Versuch mit 180 Sekunden ($\chi^2 = 13,32; p < 0,01$). Dieser Effekt zeigt sich allerdings nur bei Schülern der Mittel- und Oberschule (O. $\chi^2 = 7,94; p < 0,01$; M. $\chi^2 = 6,02; p < 0,02$; V. $\chi^2 = 0,52$ n.s.; H. $\chi^2 = 0,51$ n.s.)

### Zur 5. Hypothese: Geschlecht der Versuchspersonen

Wenn man die Zahl aller reproduzierten Ziffern addiert und mit dem $\chi^2$-Test prüft, ob dieser Gesamtwert bei männlichen Versuchspersonen häufiger über bzw. unter dem Mittelwert der gesamten Klasse liegt, so ergibt sich kein signifikanter Unterschied ($\chi^2 = 0,0006$) zwischen männlichen und weiblichen Versuchspersonen.

### Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung gelten zunächst nur für die untersuchte Population. Da Frank aber für sein Gedächtnismodell allgemeine Gültigkeit beansprucht, erscheint es berechtigt zu untersuchen, wieweit die Ergebnisse dieses Versuchs mit diesem Modell übereinstimmen. Dabei geht es vor allem um zwei Probleme, die Speicherkapazität des Kurzspeichers und die Zuflußkapazität des vorbewußten Gedächtnisses.

### Zur Speicherkapazität des Kurzspeichers

Es zeigt sich, daß bei zehn Sekunden Lernzeit unmittelbar nach Beendigung der Darbietung ebensoviele Ziffern reproduziert werden wie nach weiteren 15 Sekunden "Wartezeit". Man könnte dies damit interpretieren, daß während der ersten zehn Sekunden "Wartezeit" die noch im Kurzspeicher enthaltenen Informationen in das vorbewußte Gedächtnis übernommen werden, doch müßte dann die Zuflußkapazität des vorbewußten Gedächtnisses gleich der des Kurzspeichers sein und dies widerspricht einer grundlegenden Annahme Franks. Deshalb erscheint es sinnvoller anzunehmen, daß der Kurzspeicher Informationen länger als 10 Sekunden festhalten kann oder daß sie dort erneut einfließen können, ohne daß sie im vorbewußten Gedächtnis gespeichert sind oder in der Außenwelt wahrgenommen werden.

Ferner erscheint die große Speicherkapazität des Kurzspeichers als problematisch. Da nach Franks Annahme (als obere Schranke) 160 bit oder 48 Ziffern gleichzeitig festgehalten werden können, bleibt zu fragen, warum die Versuchspersonen - nach 10 Sekunden Darbietungszeit - nicht mehr als durchschnittlich 6 Ziffern davon reproduzierten.

## Zur Zuflußgeschwindigkeit des vorbewußten Gedächtnisses

Bei der vorliegenden Untersuchung schienen die Versuchspersonen durchweg gut motiviert zu sein. Deshalb läßt sich annehmen, daß jeweils die Zuflußgeschwindigkeit in etwa mit der Zuflußkapazität übereinstimmt, sofern nicht - was im einzelnen diskutiert wird - Ermüdung das Ergebnis beeinflußt hat.

Frank geht bei seinem Gedächtnismodell davon aus, daß die Zuflußkapazität der Speicher konstant sei. Sie hänge lediglich von der Art des Lernmaterials ab. Im Gegensatz dazu weist die vorliegende Untersuchung darauf hin, daß die Zuflußgeschwindigkeit des vorbewußten Gedächtnisses in mehrfacher Hinsicht nicht konstant ist:

1. Sie nimmt mit wachsender Lernzeit innerhalb der ersten fünf Minuten von 0,3 auf 0,1 bit/sec ab. Dies läßt sich innerhalb des Frankschen Modells auch nicht mit dem bereits einsetzenden Vergessen erklären.

Legt man die Zuflußgeschwindigkeit von 0,314 bit/sec während der ersten 60 Sekunden zugrunde, so müßten nach 300 Sekunden theoretisch 94 bit gespeichert worden sein. Geht man der Einfachheit halber davon aus, daß 300 Sekunden lang 47 bit im Kurzgedächtnis enthalten seien, so müßten - bei einer Vergessensgeschwindigkeit von ebenfalls 3,14 bit/sec und einer Kapazität von 1500 bit - in derselben Zeit durchschnittlich 2,9 bit, also weniger als eine Ziffer, vergessen werden. Tatsächlich beträgt die Differenz zwischen theoretischem und empirischem Wert 31 bit.

Diese Differenz kann auch nicht durch Ermüdung der Versuchspersonen erklärt werden, denn die "B"-Gruppe, die den Versuch mit 300 Sekunden Lernzeit an erster Stelle absolvierte, reproduzierte nicht signifikant mehr Ziffern als die "A"-Gruppe.

2. Entgegen der Annahme Franks zeigte sich ein Zusammenhang zwischen der Intelligenz der Versuchspersonen und der Zuflußkapazität des vorbewußten Gedächtnisses. Man könnte zunächst daran denken, für verschiedene Intelligenzgrade unterschiedliche Zuflußkapazitäten anzusetzen. Allerdings weist das Ergebnis, daß lediglich Mittel- und Oberschüler in der Gruppe "B" zwischen 300 und 180 Sekunden einen signifikanten Anstieg in der Anzahl behaltener Ziffern aufweisen, darauf hin, daß die Intelligenz der Versuchspersonen den Übungseffekt verstärkt. Diese Annahme wird dadurch unterstützt, daß nach 30 Sekunden Lernzeit nur die Hilfsschüler der Gruppen "A" und "B" keinen Übungsunterschied aufwiesen.

3. Zwischen den Versuchsformen "A" und "B" ergab sich bei den Versuchen mit 30 und 180 Sekunden Lernzeit trotz der großen Streuungen ein signifikanter Unterschied. In beiden Fällen reproduzierte die "B"-Gruppe, die bereits mehr Sekunden Lernzeit hinter sich hatte, signifikant mehr Ziffern als die "A"-Gruppe. Dies läßt sich nicht nur durch Ermüdung der "A"-Schüler erklären, da sonst diese Gruppe auch in dem für sie letzten Versuch mit 300 Sekunden der "B"-Gruppe unterlegen sein müßte, was nicht zutrifft.

Daß sich bei den übrigen Einzelversuchen keine signifikanten Unterschiede zeigten, mag mit der speziellen Versuchsanordnung (Vorversuch, Ermüdung, große Streuungen) zusammenhängen; dies muß in weiteren Untersuchungen geklärt werden.

Die Unterschiede zwischen den Versuchsformen lassen sich damit interpretieren, daß die Versuchspersonen im Laufe der Einzelversuche lernten, "wie man lernt". Aus den schriftlichen Aussagen geht hervor, daß sie vor allem lernten, die Ziffern zu größeren Einheiten zusammenzufassen, was durch Auffinden bekannter Ziffernkombinationen und Quasi-Gesetzmäßigkeiten erleichtert wurde.

V. Cubes Versuch (1965 a), diese Lernhilfe als Informationsverringerung zu erklären, ist - worauf Eckel hinwies (1964) - informationstheoretisch nicht zu begründen. Nimmt man an (v. Cube 1965 b), daß die Versuchspersonen den Informationsbetrag eines Textes unter den objektiven herabsetzen können, so gibt man damit eine grundlegende Annahme des Gedächtnismodells auf, daß für die Lerngeschwindigkeit der objektive Informationsbetrag eines Textes entscheidend sei.

Durch das Zusammenfassen einzelner Zeichen zu größeren Einheiten wird nicht die objektive Information, wohl aber die Anzahl der zu speichernden Einheiten herabgesetzt. Dies bietet den Ansatzpunkt für eine Interpretationsmöglichkeit der aufgewiesenen Phänomene außerhalb des Frankschen Gedächtnismodells.

G.A. Miller (1956) geht von der empirisch nachgewiesenen Tatsache aus, daß man unmittelbar etwa sieben Zeichen behält, unabhängig davon, wieviel Information ein einzelnes Zeichen besitzt, d.h. aus welchem Repertoire es stammt. Miller kommt zu dem Schluß, daß Auswendiglernen lediglich bedeute, die zu speichernden Zeichen zu recodieren und zu immer größeren Einheiten zusammenzufassen. Entscheidend für das Behalten ist demnach nicht der Informationsbetrag eines Textes, sondern die Anzahl der zu speichernden Einheiten. Dies würde den Einfluß von Intelligenz und Übung auf die Anzahl der behaltenen

Ziffern erklären. Auch die Nichtlinearität des Speicherungsprozesses läßt sich darauf zurückführen, daß das Zusammenfassen zu immer größeren Zeichen unverhältnismäßig mehr Zeit braucht.

## Zusammenfassung

Die vorliegende Untersuchung wirft eine Reihe von Fragen zum Gedächtnismodell von H. Frank auf. Eine Reihe von Versuchen mit vierzehnjährigen Schülern ergab, daß die Zuflußgeschwindigkeit des vorbewußten Gedächtnisses ergab, daß der Kurzspeicher Informationen länger als zehn Sekunden festhalten kann. Die Zuflußgeschwindigkeit des vorbewußten Gedächtnisses ist nicht konstant, sondern hängt von Intelligenz und Übung der Versuchspersonen ab und wird mit zunehmender Lernzeit geringer. Eine mögliche Erklärung dieser - mit dem Gedächtnismodell von Frank nicht übereinstimmenden - Phänomene könnte beim Prozeß des Recodierens liegen, wobei nicht der Informationsbetrag eines "Textes", sondern die Anzahl der zu speichernden Einheiten für das Auswendiglernen entscheidend ist.

## Schrifttumsverzeichnis

Aborn, Murray; Rubinstein, Herbert — Information theory and immediate recall, Journal of Experimental Psychology 44, 1952 S. 260 - 266

Cube, Felix v. — Kybernetische Grundlagen des Lehrens und Lernens, Stuttgart, 1965 a

Cube, Felix v. — Zur Frage des Auwendiglernens, GrKG 6/1 S. 21-23, 1965 b

Cube, Felix v.; Gunzenhäuser, Rul — Experimente zur Verifikation der Theorie des mechanischen Lernens, GrKG 2/4, S. 111 - 119, 1961

Eckel, Karl — Über den Zusammenhang von "Repertoire" und "Superzeichen", GrKG, 5/1, S. 31-33, 1964

Frank, Helmar — Grundlagenprobleme der Informationsästhetik und erste Anwendung auf die mime pure, Diss. Stuttgart 1959

Frank, Helmar — Über grundlegende Sätze der Informationspsychologie, GrKG 1/1, S. 25-32, 1960

Frank, Helmar — Zum Problem des vorbewußten Gedächtnisses GrKG 2/1, S. 17-24, 1961

| | |
|---|---|
| Frank, Helmar | Kybernetische Grundlagen der Pädagogik. Agis, Baden-Baden, 1962 |
| Frank, Helmar | Über einen Ansatz zu einem probabilistischen Gedächtnismodell, GrKG 5/2, S. 43-50, 1964 |
| Geigy, J.R. (ed) | Documenta Geigy - Wissenschaftliche Tabellen. Basel, 1960[3] |
| Guilford, J.P. | Fundamental Statistics in Psychology and Education, New York-Toronto-London, 1956 |
| McNemar, Quinn | Psychological Statistics, New York - London, 1962[3] |
| Miller, George A. | The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: some Limits on our Capacity for Processing Information. The Psychological Review 63, S. 81-97, 1956 |
| Miller, George, A. | Free recall of redundant strings of letters, Journal of Experimental Psychology 56, 1958, S. 485 - 491 |
| Miller, George A. and Selfridge | Verbal context and the recall of meaningful material. The American Journal of Psychology 63, 1950 |


Eingegangen am 19. März 1968

Anschrift der Verfasserin: Angelika Wagner, 53 Bonn-Duisdorf, Ossietzkystr. 5
z. Z. 914 Lincoln Ann Arbor, Mich. 48104, USA

## DIE DURCHSETZUNG DER PROGRAMMIERTEN INSTRUKTION ALS PROBLEM DER PÄDAGOGISTISCHEN ZUKUNFTSFORSCHUNG

von Helmar Frank (Waiblingen), Berlin

### § 1 Problemstellung

Die pädagogische Organisatorik erarbeitet (philosophisch-geisteswissenschaftlich oder mathematisierend) Verfahren der möglichen Bewältigung der (meist sehr nahen) Zukunft, und zwar (zumindest der Absicht nach) Verfahren von zeitloser Gültigkeit. Darin unterscheidet sie sich von der pädagogischen Zukunftsforschung (Futurologie). Letztere hat es mit der künftigen Entwicklung des didaktischen Informationsumsatzes zu tun. Da diese künftige Entwicklung (im Gegensatz zur Vergangenheit, dem Gegenstand der Pädagogikgeschichte) noch beeinflußbar ist - nicht zuletzt auch durch die Veröffentlichung von Prognosen! - kann eine wissenschaftliche Zukunftsforschung höchstens angeben, welches die ungestörte Weiterentwicklung wäre, und mit welchen Maßnahmen welche Abweichungen davon erzielt werden könnten.

Die pädagogistische (also mathematisch vorgehende) Organisatorik sucht, allgemein gesprochen, pädagogisch relevante Funktionen der Zeit zu ermitteln, welche gewissen Bedingungen genügen, die ihrerseits veränderbare Parameter enthalten. Sie liefert darüber hinaus Methoden, diese Parameter so zu bestimmen, daß die Zeitfunktionen am Ende ihres Definitionsbereichs gewissen gewünschten Werten möglichst nahe kommen. Die pädagogistische Zukunftsforschung geht darüber insofern hinaus, als sie nicht von den hier und heute gültigen Funktionswerten abstrahiert. Wären die interessierenden Funktionen durchweg analytische (d.h. beliebig oft differenzierbare) Funktionen, dann könnte man wie folgt präzisieren: Die pädagogistische Zukunftsforschung sucht wie die pädagogistische Organisatorik nach denjenigen Lösungen gewisser Differentialgleichungen, welche für einen bestimmten "künftigen" Zeitpunkt gewünschte Werte annehmen; im Gegensatz zur pädagogistischen Organisatorik hat die pädagogistische Zukunftsforschung dabei jedoch die Anfangs- und Randbedingungen zu beachten. - Da diese Anfangs- und Randbedingungen außer in hier und heute gültigen Funktionswerten der gesuchten Funktionen auch in den hier und heute gültigen Werten ihrer zeitlichen oder räumlichen Ableitungen bestehen können, setzt die pädagogische Futurologie im Prinzip außer der pädagogischen Organisatorik auch die Pädagogikgeschichte und die vergleichende Pädagogik (Bildungsgeographie) voraus. - Als Beispiel für die mögliche Arbeitsweise einer pädagogistischen Zukunftsforschung suchen wir im folgenden die Frage zu beantworten: Wann kann sich im deutschen Sprachgebiet die Lehrobjektivierung durchgesetzt haben, und durch welche heute möglichen Maßnahmen kann dieser Zeitpunkt näher an die Gegenwart herangebracht werden? Die Beantwortung dieser

Frage erfordert zunächst eine Präzisierung des Ausdrucks "durchgesetzt". Man kann darunter verstehen:

(1) den Zustand, daß für alle didaktisch programmierbaren Lektionen (rund 75 %) je mindestens e i n Lehrprogramm vorhanden ist, also rund 19500 Lehrprogrammlektionen für die allgemeinbildende Schule;
(2) den Zustand, daß der subjektiv als optimal empfundene Prozentsatz objektivierter Schulung (nach Schröter, 1966, rund 40 %) aufgrund inzwischen verfügbarer Lehrprogramme und Lehrmaschinen tatsächlich objektiviert erfolgen kann; dies wären ca. 10400 Lehrprogrammlektionen für die allgemeinbildende Schule;
(3) den Zustand, daß ein elektronischer Lehrraum voll ausgelastet werden kann (45 Stunden in jeder der 40 Unterrichtswochen eines Jahres), sich also seine Einrichtung lohnt; dies ist bei spätestens 1800 passenden Lehrprogrammlektionen erreicht.

Empirischen Erfahrungen mit der Leistungsfähigkeit didaktischer Programmierungsgruppen entnimmt man eine Ergiebigkeit von etwa $c = 8$ Lehrprogrammlektionen pro Mannjahr bei direkter didaktischer Programmierung, $C = 23$ Lehrprogrammlektionen pro Mannjahr bei Einsatz formaler Didaktiken (Frank, 1968 a). Man könnte also in Abhängigkeit von der Zahl der angesetzten Arbeitsgruppen (bestehend aus 6 Kräften, einschließlich der Hilfskräfte), die Zeitspanne errechnen, bis die geforderte Zahl von Lehrprogrammen verfügbar ist. Nun ist aber entweder die Zahl der erforderlichen Arbeitsgruppen oder die zur Bewältigung der umfangreichen Lehralgorithmierarbeit erforderliche Zeit so groß, daß der Spielraum der unmittelbaren Entscheidungsmöglichkeit irgendeiner kulturpolitischen oder industriellen Instanz überschritten wird. Dadurch rückt das Problem in den Bereich der pädagogischen Zukunftsforschung. Diese hat zu ermitteln, wieviel Fachleute für didaktische Programmierung in den kommenden Jahren verfügbar sein werden, und zu welchem Prozentsatz ihrer Arbeitskapazität. Aus einem mathematischen Modell dieser Entwicklung kann sie dann ermitteln, welche heute möglichen Maßnahmen, die zu treffen von den entscheidenden Instanzen tatsächlich beschlossen werden kann, sich künftig in einer gewünschten Weise auswirken werden.

## § 2 Ein mathematisches Wachstumsmodell der Zahl $m(t)$ von PI-Fachleuten

In einer nach außen weitgehend abgeschlossenen, intern jedoch stark kommunizierenden Population mögen insgesamt M Individuen potentielle oder aktuelle Fachleute der direkten (d. h. nicht objektivierten) didaktischen Programmierung sein. Es kann sich dabei handeln um alle Lehrer an allgemeinbildenden Schulen, ferner um alle Hochschullehrer samt deren Assistenten, sowie schließlich um alle Personen, die wesentlich mit dem didaktischen Informationsumsatz in Wirtschaft

und Industrie beschäftigt sind. Zu einem Anfangszeitpunkt $t = 0$ gibt es $m_0$ solcher Fachleute. Sie beginnen durch Symposien, Publikationen und Vorträge ihre Fachkenntnisse zu verbreiten. Zur Vereinfachung sei angenommen, dies geschehe durch Informationsstöße, von denen jeder ausreicht, eines der $M - m_0$ restlichen Individuen ausreichend zu informieren und damit zu gewinnen. Die mit der Zeit anwachsende Zahl der Fachleute sei $m(t)$. Jedes schon eingeführte Individuum liefere pro Zeiteinheit $w$ solcher Informationsstöße. Der Bruchteil $m(t)/M$ davon erreicht Fachleute, vergrößert also $m(t)$ nicht. Die a-priori-Wahrscheinlichkeit, daß ein ganz bestimmtes Individuum durch einen bestimmten dieser Informationsstöße erfaßt wird, ist $1/M$. Es wird daher mit der Wahrscheinlichkeit

$$\bar{p} = \left(1 - \frac{1}{M}\right)^{w \cdot \Delta t \cdot m(t)} \tag{1}$$

durch keinen einzigen der $w \cdot \Delta t \cdot m(t)$ Informationsstöße erfaßt, die während der Zeit $\Delta t$ von den $m(t)$ Fachleuten der Population ausgehen. Man kann daher erwarten, daß von den $M - m(t)$ noch nicht eingeführten potentiellen Fachleuten im Zeitintervall $\Delta t$ insgesamt

$$(M - m(t)) \cdot (1 - \bar{p}) = (M - m(t)) \cdot \left(1 - \left(1 - \frac{1}{M}\right)^{w \cdot m(t) \cdot \Delta t}\right) \tag{2}$$

zu Fachleuten werden. Andererseits scheiden von den $m(t)$ Fachleuten altershalber oder durch Tod im gleichen Zeitintervall $v \cdot m(t) \cdot \Delta t$ aus. Die Zahl $m(t)$ wächst daher in der Zeitspanne $\Delta t$ um

$$\Delta m = (M - m(t)) \cdot \left(1 - \left(1 - \frac{1}{M}\right)^{w \cdot m(t) \cdot \Delta t}\right) - v \cdot m(t) \cdot \Delta t. \tag{3 a}$$

Die Wachstumsgeschwindigkeit beträgt

$$\dot{m} =_{Df} \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta m}{\Delta t} = -(M - m(t)) \cdot w \cdot m(t) \cdot \ln\left(1 - \frac{1}{M}\right) - v \cdot m(t) \tag{3 b}$$

Die Lösung dieser Bernoullischen Differentialgleichung 1. Ordnung mit der Anfangsbedingung $m(0) = m_0$ lautet:

$$m(t) = \frac{1}{e^{\left(M \cdot w \cdot \ln\left(1 - \frac{1}{M}\right) + v\right)t} \cdot \left(\frac{1}{m_0} - \frac{1}{M + \frac{v}{w \cdot \ln\left(1 - \frac{1}{M}\right)}}\right) + \frac{1}{M + \frac{v}{w \cdot \ln\left(1 - \frac{1}{M}\right)}}} \tag{4}$$

Da $M \gg 1$, kann mit sehr guter Näherung $\ln(1 - 1/M)$ durch $- 1/M$ ersetzt werden. Ferner kann schon vor einer quantitativen empirischen Überprüfung leicht eingesehen werden, daß die "Weitergabegeschwindigkeit" w wesentlich größer ist als die "Verfallsgeschwindigkeit" v. Denn mindestens im Durchschnitt kann jeder Fachmann der programmierten Instruktion innerhalb eines Jahres durch einen Lehrgang oder durch eine seiner Publikationen mehr als einen potentiellen Fachmann einführen, während seine eigene restliche Lebenserwartung im Durchschnitt erheblich viel größer ist als ein Jahr. Schließlich ist $M \cdot (1 - v/w) \gg m_0$. Dies erlaubt die Gleichung (4) durch einfachere Näherungen zu ersetzen. Insbesondere gilt für kleine t:

$$m(t) \approx m_0 \cdot e^{(w - v) \cdot t} . \qquad (5)$$

Die gesuchte Funktion hat also einen zunächst nahezu exponentiellen Verlauf, ist also bei logarithmischer Ordinatenteilung zunächst fast geradlinig. Steigung und Ordinatenschnittpunkt dieser Geraden, also $w - v$ und $m_0$, müssen sich pädagogikgeschichtlich ermitteln lassen. Aus der Sterbetafel 1926 des Vereins Deutscher Lebensversicherungsgesellschaften (vgl. z. B. Gauß und Gobbin, 1954) errechnet man $v \approx 0,035\ ^1/\text{Jahre}$, falls alle M Individuen zwischen 20 und 70 Jahre alt sind.

Bilden die zugrundegelegte Population, welche über M praktische Pädagogen verfügt, die Einwohner der Bundesrepublik, Österreichs und der deutschsprachigen Schweiz, dann hat M die Größenordnung 350 000. (Wie sich aus der Gleichung (5) ergibt, braucht diese Zahl für die Prognose der näheren Zukunft nicht genau bekannt zu sein.) Das Wachstum und einen Anfangswert von m (t) versuchen wir der Pädagogikgeschichte zu entnehmen, indem wir m (t) zwischen 1963 ($t = 0$) und 1968 ($t = 5$) auftragen. Leider ist dies jedoch nicht unmittelbar möglich. Bekannt sind jedoch

(1) die Zahl der aus unserer Population stammenden Referenten bei den alljährlichen Symposien der internationalen Gesellschaft für Programmierte Instruktion (GPI), ferner
(2) die Zahl der entsprechenden Mitglieder der GPI aus dieser Population (vgl. das Kontaktregister, 1968), und
(3) die Zahl der Teilnehmer an den (seit 1966 nur noch alle zwei Jahre) öffentlichen Symposien dieser Gesellschaft.

Die Arbeitshypothese liegt nahe, daß jede dieser drei Zahlen sich durch einen spezifischen, aber für die ersten paar Jahre zeitunabhängigen Faktor aus m (t) berechnen läßt. Das würde bedeuten, daß alle drei genannten Zeitfunktionen in einem Koordinatensystem mit logarithmischer Ordinatenteilung sich als parallele Geraden mit derselben Steigung wie die Funktion 5 darstellten. Aus Bild 1 ist zu entnehmen, daß diese Arbeitshypothese mit dem empirischen Befund ver-

träglich ist, und daß w - v = 0,385 $^{1}$/Jahre, also w = 0,420 $^{1}$/Jahre beträgt. Es gibt gute Argumente dafür, m (t) mit der mittleren Kurve zu identifizieren. (Zwar schließen sich neue Fachleute der Programmierten Instruktion aus unserer Population gelegentlich nicht sofort der GPI an, dafür enthält diese andererseits auch einzelne Mitglieder, die nur als Förderer beitreten bzw. erst Fachleute auf diesem Gebiet werden wollen.) Damit ist $m_0$ = 86, und die Funktionsgleichung 4 wird bei diesen Parametern durch Bild 2 dargestellt.

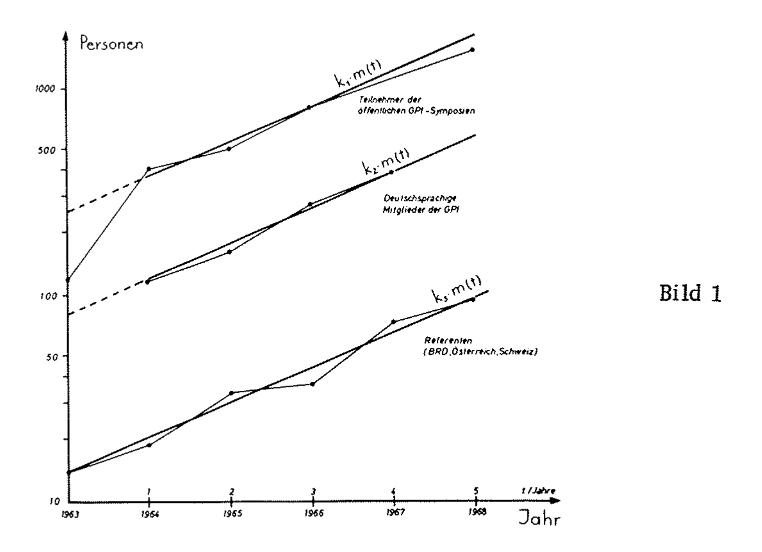



Bild 1

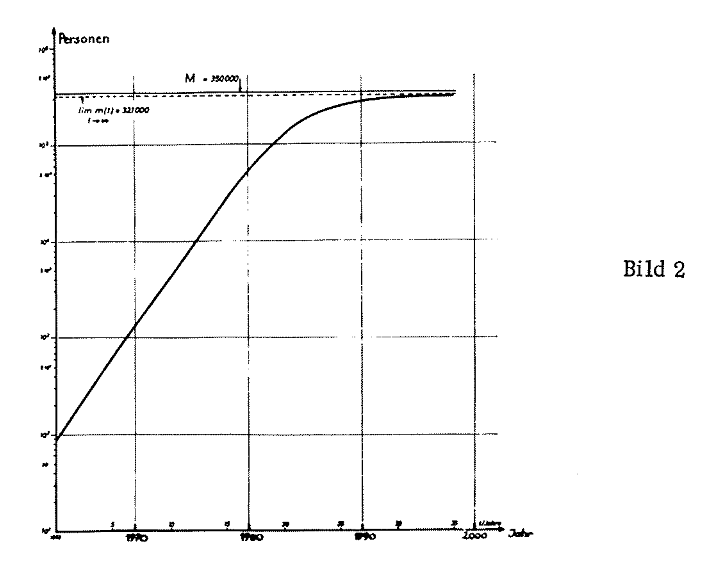



Bild 2

## § 3 Das Anwachsen des Lehrprogrammvorrats u (t)

Wenn nun die $m(t_0 + n)$ Fachleute, die am Ende des Jahres $t_0 + n$ vorhanden sein werden (wobei $t_0 > 0$ insbesondere das Jahr 1968 bezeichnen kann), im Jahre $(t_0 + n + 1)$ zum Prozentsatz $p(t_0 + n + 1)$ ihrer Arbeitskapazität für das Lehralgorithmieren verfügbar sind, dann entstehen im Jahre $t_0 + n + 1$

$$(6) \qquad \Delta u\,(t_0 + n + 1) = c \cdot p\,(t_0 + n + 1) \cdot m\,(t_0 + n)$$

neue Lehrprogrammlektionen. Der Lehrprogrammvorrat am Ende dieses Jahres ist also

$$(7) \qquad u\,(t_0 + n + 1) = u\,(t_0 + n) + c \cdot p\,(t_0 + n + 1) \cdot m\,(t_0 + n).$$

Die für $n = 0, 1, 2, \ldots$ gültige Gleichung reicht jedoch als Grundlage zur Beantwortung unserer Frage, wann sich die Lehrobjektivierung durchgesetzt haben kann, nicht aus. Erstens muß wegen des endlichen Erwartungswertes T der Aktualität von Lehrstoffen jährlich der Bruchteil $1 - e^{-\frac{1}{T}}$ der Lektionen wegen Veraltung wegfallen, d.h. es sind am Ende des Jahres $t_0 + n + 1$

$$(8) \qquad u_{eff}\,(t_0 + n + 1) = u_{eff}\,(t_0 + n) \cdot e^{-\frac{1}{T}} + \Delta u\,(t_0 + n + 1)$$

effektiv brauchbare, also im nächsten Jahre $(t_0 + n + 2)$ einsetzbare Lehrprogramme vorhanden. Zweitens muß $p(t_0 + n + 1)$ bestimmt werden. Hierfür gibt es einen naheliegenden Ansatz. Beginnend mit dem Jahre $t_0 + 1$ mögen die effektiv vorhandenen Lehrprogramme eingesetzt und die dadurch eingesparte Lehrerarbeitskapazität für das weitere Lehralgorithmieren verwendet werden; dabei sei angenommen, daß durch gut organisierte Arbeitsteilung eine Doppelprogrammierung desselben Lehrstoffes bis zur allgemeinen Durchsetzung der Lehrobjektivierung vermieden werde. Nun kann entweder jede Lektion, zu welcher es ein Lehrprogramm gibt, d u r c h w e g objektiviert erteilt werden, oder aber nur dann, wenn die Lektion sonst von einem der m F a c h l e u t e hätte in Direktschulung erteilt werden müssen. Im ersten Falle kann die freigesetzte Arbeitskapazität der Nichtfachleute zur weiteren Entlastung der Fachleute genutzt werden. Falls jede der U Lektionen in jedem Jahr entweder von wenigstens einem der M Lehrkräfte oder aber in objektivierter Form erteilt werden müßte, ist damit zu rechnen, daß im Jahre $t_0 + n + 1$ der Prozentsatz

$$(9) \qquad P = \frac{u_{eff}(t_0+n)}{U}$$

der Arbeitskapazität für die didaktische Programmierung frei wird, also im genannten ersten Falle $M \cdot P$ Mannjahre. Es ist in diesem Falle

$$(10\,a) \qquad p\,(t_0 + n + 1) = \frac{M \cdot P}{m(t_0+n)} = \frac{M}{U} \cdot \frac{u_{eff}\,(t_0 + n)}{m\,(t_0 + n)}$$

solange für $M \cdot P < m\,(t_0 + n)$ ist - später ist natürlich $p\,(t_0 + n + 1) = 1$.

Im anderen Falle ist die freigesetzte Arbeitskapazität wesentlich kleiner, nämlich nur $m\,(t_0 + n) \cdot P$, und damit

$$(10\,b) \qquad p\,(t_0 + n + 1) = P = \frac{u_{eff}\,(t_0 + n)}{U}$$

Damit haben wir zwei (sich in der Gleichung 10 unterscheidende) Systeme von Differenzengleichungen. Aus jedem können wir die im jeweiligen Falle erreichbare Zahl $u\,(t_0 + n)$ bzw. $u_{eff}\,(t_0 + n)$ vorhandener bzw. effektiv noch einsetzbarer Lehrprogrammlektionen nacheinander für $n = 1, 2, 3, \ldots$ berechnen, sobald die Anfangsbedingungen dieser beiden Zeitfunktionen, also $u\,(t_0)$ und $u_{eff}\,(t_0)$ bekannt sind.

Das Differenzengleichungssystem gilt nur im Zeitintervall von $n = 0$ bis zu demjenigen Zeitpunkt, für welchen $u_{eff}\,(t_0 + n)$ erstmals die Zahl aller didaktisch programmierbaren Lektionen übertrifft. Dieser Zeitpunkt tritt natürlich im Falle der Gültigkeit von (10 a) sehr viel früher ein als im Falle der Gültigkeit von (10 b). Hier liegt eine erste Entscheidungsmöglichkeit der kulturpolitischen oder industriellen Instanzen; dagegen wäre es unbillig von ihnen zu fordern, sofort $\frac{U}{c}$ Fachleute für die (mit diesem Aufwand innerhalb eines Jahres mögliche) didaktische Programmierung der objektivierbaren Lektionen einzusetzen - oder auch nur alle jene Fachleute, die schon existieren, aber in ihrem bisherigen Arbeitsplatz einstweilen durch nicht existierende zusätzliche Lehrkräfte ersetzt werden müßten.

Wir schränken nun die Betrachtung auf den Bereich der allgemeinbildenden Schule ein, für welche die Nutzzeit T von der Größenordnung 30 Jahre, die Zahl der verschiedenen Lektionen von der Größenordnung U = 26 000 ist (vgl. Frank, 1968 b, Abschnitt 3.83). Ferner kann man aus verschiedenen Zusammenstellungen (D. D. Müller, 1968; R. Hintermeier, 1968) schließen, daß bis zum Ende des Jahres 1968 rund 1000 bis 1100 verschiedene, in der deutschsprachigen Schule verwendbare Lehrprogramme existieren werden. Nimmt man an, die Fachleute der Programmierten Instruktion seien etwa gleichmäßig auf die drei Bereiche des

didaktischen Informationsumsatzes verteilt, dann kann für den Schulbereich am Ende des Jahres $t_0$ (1968) der Anfangswert $m(t_0) = 186$ angenommen werden. Unsere beiden Differenzengleichungssysteme ergeben damit als Lösungen die beiden in Bild 3 wiedergegebenen Kurven, die dort je mit dem Parameterwert $F_0 = 0$ markiert sind. Offensichtlich erlaubt die erwähnte kulturpolitische Entscheidungsmöglichkeit eine beträchtliche Verkürzung der Zeitspanne bis zur Durchsetzung der Programmierten Instruktion, welches der drei in § 1 genannten Kriterien man auch zugrundelegt.

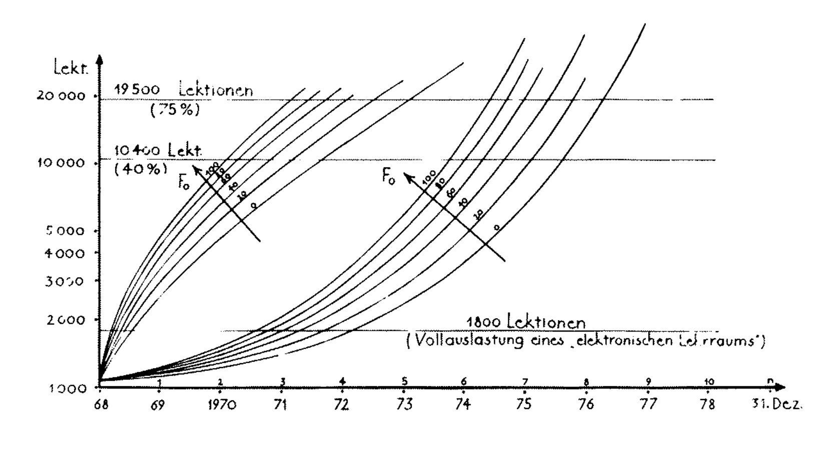



Bild 3

## § 4 Die mögliche Auswirkung der formalen Didaktiken auf u (t)

Eine zweite Möglichkeit, den künftigen Verlauf der Zeitfunktion $u_{eff}(t_0 + n)$ durch eine heutige Maßnahme (diesmal kontinuierlich) zu beeinflussen, besteht im Einsatz formaler Didaktiken (vgl. dazu Frank, 1968 b, Abschnitt 3.82). Dazu werden (im Jahre $t_0$) $F(t_0) = F_0$ Pädagogen in der Handhabung der vorhandenen formalen Didaktiken ausgebildet. Diese Zahl $F_0$ möge - so lautet unser Ansatz - in der Zahl M aller Lehrkräfte des betrachteten Bereichs enthalten sein, nicht jedoch in der Zahl $m(t_0)$ der Fachleute für direkte didaktische Programmierung. F(t) möge zunächst demselben näherungsweise exponentiellen Wachstumsgesetz (5) folgen wie m (t), wobei jedoch einstweilen die Menge der Formaldidaktiker und die Menge der Direktdidaktiker die leere Menge als Durch-

schnitt behalten sollen. Die Gesamtzahl der Lehrprogrammproduzenten des Schulbereichs ist dann

(11) $$G(t) = F(t) + m(t),$$

wobei zwei Konstante $\lambda$ und $\mu = 1 - \lambda$ einheitlich für alle t existieren, so daß

$$m(t) = \lambda \cdot G(t) \quad \text{und} \quad F(t) = \mu \cdot G(t)$$

gilt, nämlich $\lambda = \dfrac{m(t_0)}{m(t_0) + F_0}$ und $\mu = \dfrac{F_0}{m(t_0) + F_0}$

Den Einfluß der Ausbildung von $F_0$ Formaldidaktikern bis zum Schluß des Jahres $t_0$ können wir durch nochmaliges Lösen unserer Differenzengleichungssysteme (6, 7, 8, 10 a oder 10 b) erkennen, wobei wir einfach anstelle von $m(t_0 + n)$ die neue Größe $G(t_0 + n)$ einsetzen, und anstelle von $\Delta u(t_0 + n + 1)$ die Summe der auf direktem oder (teil)-objektiviertem Wege erzeugten Lehrprogramme, nämlich

(12) $$\Delta u(t_0 + n + 1) = (\mu \cdot C + \lambda \cdot c) \cdot p(t_0 + n + 1) \cdot G(t_0 + n)$$

In Bild 3 ist mit dem Scharparameter $F_0$ (zwischen 0 und 100) die künftige Entwicklung des Lehrprogrammvorrats eingezeichnet. Bild 4 (a, b) stellt für jedes der drei in § 1 aufgeführten Kriterien die erforderliche Zahl $F_0$ von 1968 auszubildenden Formaldidaktikern als Funktion des erstrebten Zeitpunkts der erfolg-

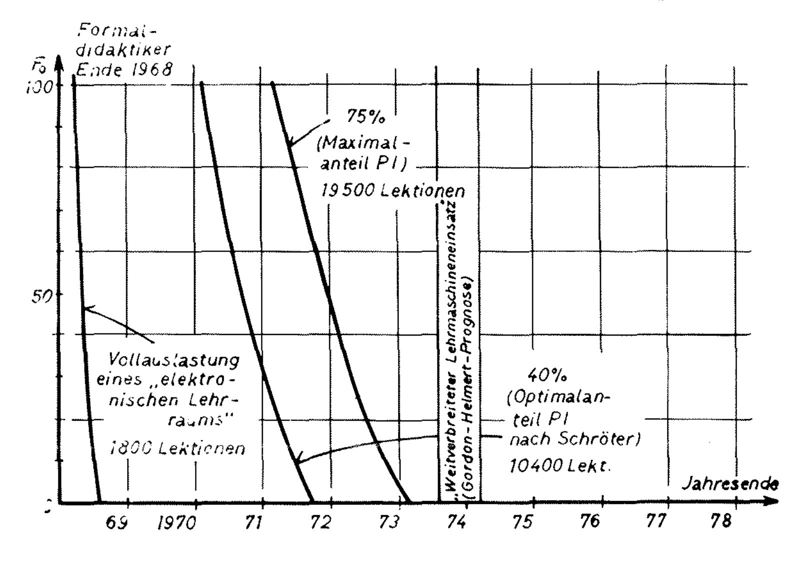



Bild 4 a

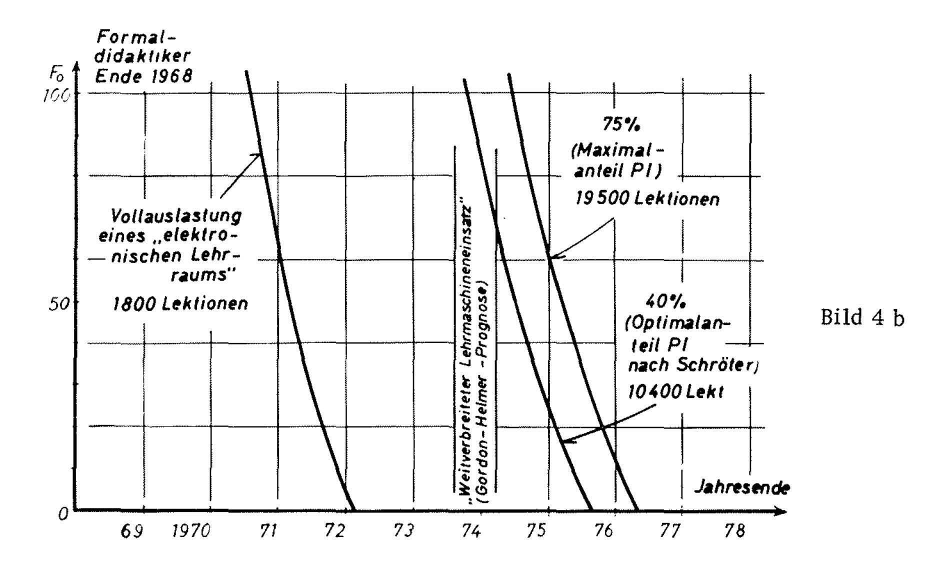



Bild 4 b

ten praktischen Durchsetzung der Lehrobjektivierung dar, und zwar (a) für den Fall der Gleichung 10 a, (b) für den Fall der Gleichung 10 b. Zum Vergleich ist beidesmal die Vorhersage des (die US-amerikanischen Verhältnisse betreffenden) Gordon-Helmer-Berichts eingetragen, die natürlich formale Didaktiken nicht berücksichtigt.

Es ist bemerkenswert, daß wir zur Lösung unserer pädagogisch-futurologischen Fragestellung Bild 1 auswerten mußten. Damit ist nachgewiesen, daß nicht nur im Rahmen der klassischen Pädagogik sondern auch im Rahmen der Pädagogistik, also der kalkülhaften (insbesondere der kybernetischen) Pädagogik die Pädagogikgeschichte - natürlich als quantitative Wissenschaft - einen wenn auch nicht dominierenden Platz hat. -

Schrifttumsverzeichnis


Frank, Helmar — Über organisationskybernetische und bildungsökonomische Fragen der programmierten Instruktion, in: "Kommunikation" Heft IV, 3, S. 136-144, 1968 a

Frank, Helmar — Kybernetische Grundlagen der Pädagogik. Agis, Baden-Baden, 2. Auflage 1968 b

Gauß, F.G.
Gobbin, H.H. — Vierstellige vollständige logarithmische und trigonometrische Tafeln, Wittwer, Stuttgart, 1954

Gordon, J.T. Helmer, O. — Report on a longrange forecasting study, Rand Corporation, Santa Monica, California, 1964

Hintermeier, Rita — Lehrprogramme ´68 (Bibliographie) Ehrenwirt, München, 1968, 36 S.

Kontaktregister der pädagogischen Technik. Hsg. Gesellschaft für Programmierte Instruktion, GPI, 2. Auflage, Schnelle, Quickborn, 1968

Müller, Dagulf D. — Jahreskatalog: Kybernetik, Automation, Programmierter Unterricht, Grenzgebiete (Bibliographie), Elwert und Meurer, Berlin, 1968

Schröter, Gerhard — Untersuchungen über die Einstellung von Berufsschülern zur Programmierten Unterweisung. In: Praxis und Perspektiven des Programmierten Unterrichts, 1, 1965, Verlag Schnelle, Quickborn, S. 17-28

Eingegangen am 15. September 1968

Anschrift des Verfassers:
1 Berlin 33, Altensteinstr. 39

Kybernetische Buchveröffentlichungen 1968

besprochen von Helmar Frank, Berlin

Wiewohl die literarische Beachtung der Kybernetik und insbesondere ihrer Anwendung im geisteswissenschaftlichen Bereich noch steigt, findet sich unter den Buchveröffentlichungen aus dem Jahre 1968, die der Schriftleitung zugingen, im Vergleich zu den Vorjahren wenig Bemerkenswertes. - Eine seriöse Einführung in die Theorie der Turing-Maschinen, die Algorithmentheorie und die Theorie formaler Sprachen legt Klaus Indermark mit einer Überarbeitung eines Vorlesungsmanuskripts von Wilfried Brauer vor (Algorithmen, rekursive Funktionen und formale Sprachen. Bibliographisches Institut, Mannheim/Zürich. 115 Seiten). Theodor H. Erismann (Zwischen Technik und Psychologie. Springer, Berlin/Heidelberg/New York, 178 S.) rechnet mit der Möglichkeit, es könne "eine vollständige kybernetisch-technische Durchleuchtung aller psychischen Vorgänge möglich werden", was die Psychologie zu einer Sekundärwissenschaft werden ließe. Indessen machen des Verfassers kritische Würdigungen der zahlreichen, vielfach noch wenig aufeinander abgestimmten, ingenieurkybernetischen und biokybernetischen Arbeitshypothesen die große Entfernung von einer solchen künftigen "Aufhebung" der Psychologie deutlich. - Die weitgehend futuristische Betrachtung von Arnold Buchholz (Die große Transformation. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, 212 S.) sieht als eine der möglichen künftigen gesellschaftlichen Rollen der Kybernetik die Bereitstellung von Wählmaschinen in allen Haushalten voraus, welche eine verstärkte Beteiligung jedes einzelnen am gesellschaftlichen Entscheidungsprozeß ermöglichen können. - Eine sehr einfache Einführung in einige kybernetische Grundbegriffe legt der Sozialwissenschaftler Helmut Seiffert vor (Information über die Information, C.H. Beck, München, 196 S.), während des Psychologen Alexander Rohrs "Komplexes Denken" (Beltz, Weinheim/Berlin/Basel, 193 S.) kybernetisches Gebiet wohl nur versehentlich betritt, nämlich mit der Formel für die Unsicherheit H (XY) eines Produktfeldes, die er falsch wiedergibt und dem amerikanischen Psychologen Attneave zuschreibt. - Sehr nützliche Hilfsmittel des kybernetischen Pädagogen sind die bibliographische Dokumentation "Lernprogramme 68" (Ehrenwirth-Verlag, München, 36 S.) und die biographische Dokumentation "Kontaktregister der pädagogischen Technik" (2. Auflage, Schnelle, Quickborn, 44 S.) - Aus dem englischen Sprachbereich erwähnen wir die von Evans und Robertson herausgegebene Textsammlung "Cybernetics" (Butterworths, London, 289 S.).

DIE AUTOREN DES BANDES 9


| | |
|---|---|
| Blischke, Helge | 1 Berlin 46, Malteserstr. 74-100<br>Institut für Kybernetik |
| Bung, Klaus | Department of Linguistics, University of Cambridge, Sidgwick Avenue, Cambridge, England |
| Eckel, Karl | Deutsches Institut für Internationale Pädagogische Forschung, 6 Frankfurt/Main-West, Schloßstr. 29 |
| Feichtinger, Dr. Gustav | Institut für Gesellschafts- und Wirtschaftswissenschaften der Universität 53 Bonn, Lennéstr. 37 |
| Frank, Prof. Dr. Helmar | 1 Berlin 33, Altensteinstr. 39 |
| Frank-Böhringer, Brigitte | 1 Berlin 33, Altensteinstr. 39 |
| Franke, Dr. Herbert W. | 8024 Kreuzpullach, Jagdhaus |
| Hilbig, Wolfgang | 1 Berlin 46, Malteserstr. 74-100<br>Institut für Kybernetik |
| Klement, Dr. Hans-Werner | 638 Bad Homburg, Theodor-Storm-Str. 27 |
| Kümmel, Dr. Peter | Tokio, CPO-Box 1178 |
| Leppig, Dr. Manfred | 44 Münster, Platz der Weißen Rose |
| Philipps, Dr. Lothar | 667 St. Ingbert, Am Rischbacher Rech 82 |
| Rüßmann, Renate | 1 Berlin 46, Malteserstr. 74-100<br>Institut für Kybernetik |
| Thiele, Dr. Dr. Joachim | 2082 Uetersen, Herderstr. 1 |
| von Cube, Prof. Dr. Felix | 1 Berlin 41, Odenwaldstr. 26 |
| Wagner, Angelika | 53 Bonn-Duisdorf, Ossietzkystr. 5 |
| Weltner, Prof. Dr. Klaus | 45 Osnabrück, Delmenhorster Weg 2 |

INHALT VON BAND 9 (1968)

## DIE AUTOREN DES BANDES 9

| | |
|---|---|
| Blischke, Helge | 1 Berlin 46, Malteserstr. 74-100<br>Institut für Kybernetik |
| Bung, Klaus | Department of Linguistics, University of Cambridge, Sidgwick Avenue, Cambridge, England |
| Eckel, Karl | Deutsches Institut für Internationale Pädagogische Forschung, 6 Frankfurt/Main-West, Schloßstr. 29 |
| Feichtinger, Dr. Gustav | Institut für Gesellschafts- und Wirtschaftswissenschaften der Universität 53 Bonn, Lennéstr. 37 |
| Frank, Prof. Dr. Helmar | 1 Berlin 33, Altensteinstr. 39 |
| Frank-Böhringer, Brigitte | 1 Berlin 33, Altensteinstr. 39 |
| Franke, Dr. Herbert W. | 8024 Kreuzpullach, Jagdhaus |
| Hilbig, Wolfgang | 1 Berlin 46, Malteserstr. 74-100<br>Institut für Kybernetik |
| Klement, Dr. Hans-Werner | 638 Bad Homburg, Theodor-Storm-Str. 27 |
| Kümmel, Dr. Peter | Tokio, CPO-Box 1178 |
| Leppig, Dr. Manfred | 44 Münster, Platz der Weißen Rose |
| Philipps, Dr. Lothar | 667 St. Ingbert, Am Rischbacher Rech 82 |
| Rüßmann, Renate | 1 Berlin 46, Malteserstr. 74-100<br>Institut für Kybernetik |
| Thiele, Dr. Dr. Joachim | 2082 Uetersen, Herderstr. 1 |
| von Cube, Prof. Dr. Felix | 1 Berlin 41, Odenwaldstr. 26 |
| Wagner, Angelika | 53 Bonn-Duisdorf, Ossietzkystr. 5 |
| Weltner, Prof. Dr. Klaus | 45 Osnabrück, Delmenhorster Weg 2 |

INHALT VON BAND 9 (1968)

*EBERHARD LANG*

# Zur Geschichte des Wortes Kybernetik

*BEIHEFT ZU BAND 9 DER*

GRUNDLAGENSTUDIEN

AUS

KYBERNETIK

UND GEISTESWISSENSCHAFT

VERLAG SCHNELLE QUICKBORN

*1968*
*Verlag Schnelle, Eberhard und Wolfgang Schnelle GmbH, Quickborn*

*Druck und Einband: Maurischat & Bevensee, Quickborn*
*Printed in Germany*

## VORWORT DER SCHRIFTLEITUNG

Die seit 1960 erscheinenden jährlichen Beihefte der "Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft" waren bisher mit einer einzigen Ausnahme (nämlich der 1966 erschienenen kybernetisch-pädagogischen Arbeit von Stachowiak) ausnahmslos R e p r o d u k t i o n e n schwer zugänglicher, für die Kybernetik zumindest in geschichtlicher Hinsicht bedeutsam erscheinender Texte. Mit der Arbeit von E. Lang wird hier zum zweiten Mal eine Originalarbeit als Beiheft vorgelegt.

Sieben der acht bisher erschienenen Beihefte gehörten thematisch und hinsichtlich der methodischen Intention in den Bereich der Kybernetik; drei davon (nämlich die 1961 bzw. 1965 erschienenen beiden Hefte von Schmidt und das 1967 erschienene Heft von Rosenblueth/Wiener/Bigelow) betrafen den Ansatz der Kybernetik schlechthin, drei (1962: von Baer, 1963: Kaeding; 1966: Stachowiak) bzw. je eines (1964: Cyon/Ludwig; 1965: Schmidt) betrafen anthropokybernetische bzw. biokybernetische bzw. (zusätzlich) ingenieurkybernetische Teilprobleme. Nur ein einziges Beiheft, das erste, fällt vollständig aus dem Rahmen der Kybernetik heraus: die 1960 erschienene Reproduktion des Textes von Bolzano: "Was ist Philosophie?" - Mit dem hier vorgelegten Text von E. Lang verlassen wir ein zweites Mal den Bereich der Kybernetik in philosophisch-geisteswissenschaftlicher Richtung. Dies geschieht nicht ohne Absicht.

Wir vertreten eine Disziplin, welche einerseits eine kalkülhafte Theorie, andererseits eine darauf gegründete konstruierende Technik der Nachrichten, der Nachrichtenverarbeitung und der Nachrichtenverarbeitungssysteme (kurz: der informationellen Gegenstände) ist. Diese Disziplin ist also durch das Zusammentreffen von drei Merkmalen gekennzeichnet: 1. durch den i n f o r m a t i o n e l l e n (nicht: materiell-energetischen) G e g e n s t a n d; 2. durch das (End-)Z i e l d e r O b j e k t i v a t i o n geistiger Arbeit (nicht: der Eigentlichkeit ihres bewußten Vollzugs) und dazu 3. durch die a l g o r i t h m i s c h e (kalkülhafte bzw. konstruierende, d.h. auf Mathematik, nicht auf einsichtsvolles Verstehen und Gestalten und damit auf Hermeneutik, gegründete) M e t h o d e. Diese Merkmalsdreiheit, die sich schon in den Texten von Rosenblueth/Wiener/Bigelow und (noch früher und klarer) von Schmidt findet, k e n n z e i c h n e t unsere Disziplin von Anfang an, während sie erst später von Wiener durch die Wortmarke "Kybernetik" b e z e i c h n e t wurde.

Obgleich die Wahl von Bezeichnungen in kalkülisierenden Wissenschaften (im Gegensatz zu den verstehenden) im Prinzip als willkürlich gilt, sofern man nur formale Bedingungen, insbesondere Vorsichtsmaßregeln bei Homonymie, beach-

tet - ist man dennoch auch in diesem Wissenschaftsbereich bestrebt, möglichst "sinnvolle" Bezeichnungen zu finden. Damit die Kategorie der Nachricht im Namen der neuen Disziplin angesprochen wird, hätte Wiener gerne diese Disziplin "Angelistik" genannt, doch hinderte ihn hieran die Maxime der Homonymievermeidung. Ersatzweise griff er auf einen Wortstamm zurück, dessen mannigfache philologische Bezüge nun Eberhard Lang in der hier vorgelegten Arbeit aufweist. Für das kybernetische Schrifttum gibt es (wie bei allen kalkülisierenden Wissenschaften) nur einen einzigen Grund, sich um den Wortursprung der aus welchen Gründen auch immer zustandegekommenen Wissenschaftsbezeichnung zu kümmern: der besonders glückliche didaktische Einstieg, den der Wortursprung (vielleicht manchmal) bietet.

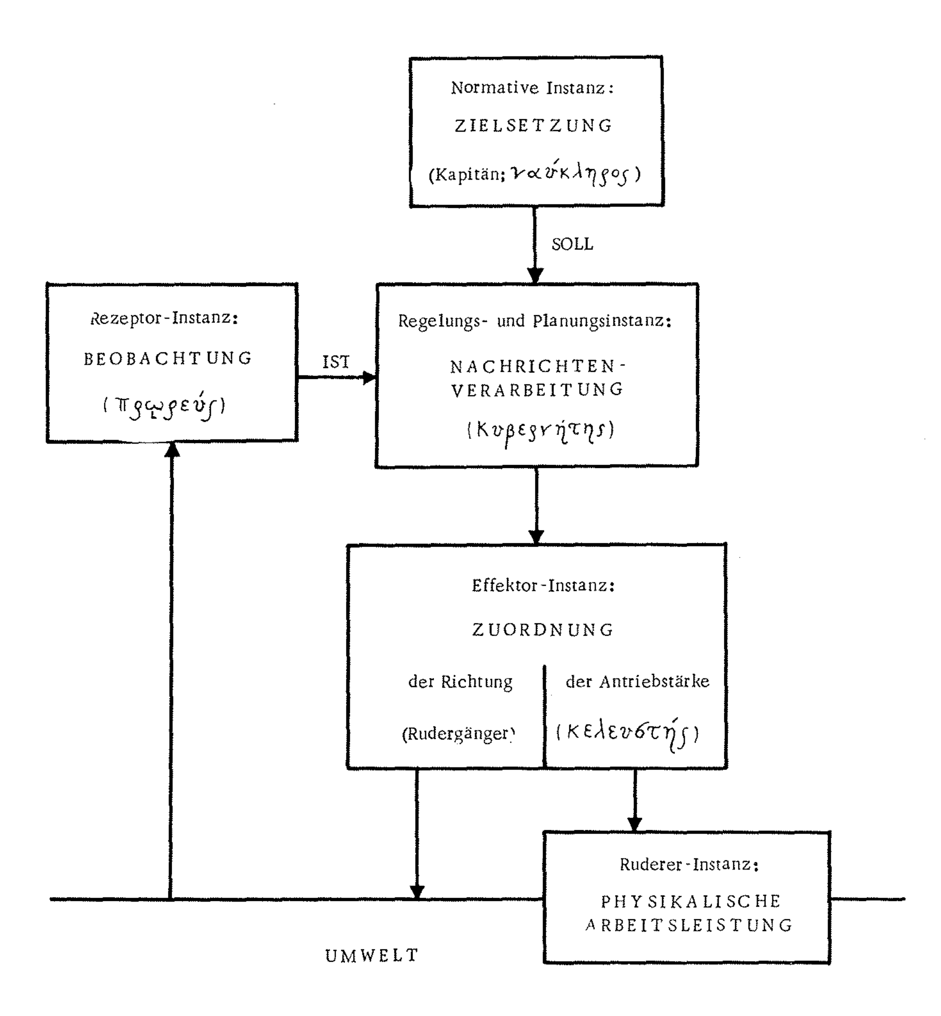
Die philosophisch-geisteswissenschaftlichen Disziplinen, die wir als komplementäres Gegenstück der Kybernetik ansehen (vgl. Frank, Kybernetik und Philosophie, Berlin 1966, §§ 4 und 10), sind demgegenüber gerade an solchen wortgeschichtlichen Fragen, wie überhaupt an allem raum-zeitlich Einmaligen, interessiert, zumal für sie auch die Sprache mehr ist als ein im Prinzip beliebig auswechselbarer Code. Sie streben sozusagen eine größtmögliche Transinformation über die Quellen ihres Wissens, also über die Vergangenheit, an, so wie die kalkülisierenden Disziplinen (Naturwissenschaften, Kybernetik) mit ihrem "savoir pour prévoir" eine größtmögliche Transinformation über die Zukunft zu liefern suchen. Dazu müssen die letzteren (man denke als Musterfall an die Astronomie!) allgemeine, unveränderliche Gesetze in mathematischer Sprache formulieren und das Hier und Heute in einsetzbare Meßwerte übersetzen. Formeln und Tabellen kennzeichnen das Schrifttum dieser Wissenschaften, deren spezifische Strenge die Exaktheit ist, so wie die Fülle von Quellenverweisen zur "Akribie" genannten Strenge philosophisch-geisteswissenschaftlicher Disziplinen gehört. Wir haben nun im Zusammenhang mit unserer These von der Komplementarität der beiden genannten Wissenschaftsgruppen auf die Möglichkeit und wissenschaftsgeschichtliche Notwendigkeit einer Auseinandersetzung mit ihnen hingewiesen. Die vorliegende Arbeit von Eberhard Lang legen wir hier vor als ein Musterbeispiel für die philosophisch-geisteswissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Kybernetik. Dabei wird nicht nur deren Name zum Thema. Zu den tieferen Problemen, die der Autor berührt, gehört beispielsweise die Alternative zwischen Geschichtlichkeit und Periodizität allen Geschehens. Daß sich auch hier die Kybernetik als Gegenstück zu den (hier mit dem christlichen Weltbild konform gehenden) Geisteswissenschaften erweisen könnte, ergibt sich aus der Überlegung, daß das Geschehen unserer Welt, falls diese als endliches, deterministisches, geschlossenes dynamisches System (im Sinne der Kybernetik) begriffen wird, notwendig in Perioden von allerdings astronomischer Dauer abläuft, was bekanntlich nicht im Widerspruch steht zu den nur statistischen Aussagen der Thermodynamik.

Hat nun die philosophisch-geisteswissenschaftliche Beschäftigung mit der Kybernetik für diese selbst irgendeine Relevanz? Diese Frage wird natürlich nur in Einzelfällen und nur teilweise zu bejahen sein. Ein solcher Einzelfall liegt in der Arbeit von E. Lang zweifellos vor, denn sie macht den von uns selbst bisher bevorzugten didaktischen Einstieg in die Kybernetik über das Schema der "kybernetischen Instanzen" fragwürdig. Hier liefert die Untersuchung in groben Zügen folgendes Bild.

1. Das Berufsbild des Lotsen (das Wort stammt nach Angabe des Großen Brockhaus von 1957 übrigens vom niederdeutschen Wort "lootsman" = "Steuermann" ab!), als eines besonders erfahrenen, mit dem höchsten Befähigungszeugnis (Patent) ausgestatteten Seemanns, der eine eingehende Ortskenntnis in seinem Revier besitzt und daher während der Fahrt durch dieses Revier an Bord genommen wird um (als ein gegenüber dem Kapitän selbständiger Fachmann) beratend (Beratungslotse) oder führend (Führungslotse) bei der Steuerung des Schiffes zu helfen - dieses Berufsbild kannte die Antike noch nicht; der antike κυβερνήτης war auf seine eigenen Erfahrungen und Fähigkeiten angewiesen.

2. Schon die Antike - wie die Gegenwart - kannte, insbesondere bei unterschiedlicher Schiffsgröße, unterschiedliche Grade der nautischen Arbeitsteilung. Der κυβερνήτης hatte normalerweise nicht selbst die Hand am Griff des Steuerruders und war auch nicht selbst zielsetzender Schiffsherr (Kapitän), jedoch gab es in Einzelfällen, insbesondere natürlich bei kleinen Booten, eine Konzentration mehrerer Funktionen auf eine Person. (Entsprechend übernimmt heute auf kleinen Schiffen meist ein "Bestmann" als Steuermann sowohl die unmittelbare Vertretung des Kapitäns, als auch die unmittelbare Betätigung des Steuerruders, während auf großen Schiffen letzteres Aufgabe des "Rudergängers" zu sein pflegt.)

3. Daß die Informationsabgabe des Ersten Offiziers, des κυβερνήτης, durch die (heute sogenannten Steuer-)Ruderkommandos eine mehrdimensionale Regelung bewirkte, kommt in der antiken Schiffshierarchie durch die Instanz eines dem κυβερνήτης unmittelbar unterstellten Aufsehers über die Ruderer, des Keleustés, neben dem Mann am Steuerruder (einem der besten Ruderer der Mannschaft) zum Ausdruck. Wie diese Repräsentanten einer "Effektorinstanz" die Informationsabgabe des κυβερνήτης nach außen vermittelten, so nahm als "Rezeptorinstanz" ein Zweiter Offizier, der Proréus, auf dem Vorderschiff die Umweltinformation für den κυβερνήτης auf. Aufgrund der von E. Lang zusammengestellten Analysen wäre also unser bekanntes Schema der kybernetischen Instanzen etwa im Sinne des beigefügten Bildes zu ergänzen.


Normative Instanz:
ZIELSETZUNG
(Kapitän; ναύκληρος)
SOLL
Rezeptor-Instanz:
BEOBACHTUNG
(πρωρεύς)
IST
Regelungs- und Planungsinstanz:
NACHRICHTEN-
VERARBEITUNG
(κυβερνήτης)
Effektor-Instanz:
ZUORDNUNG
der Richtung
(Rudergänger)
der Antriebstärke
(κελευστής)
Ruderer-Instanz:
PHYSIKALISCHE
ARBEITSLEISTUNG
UMWELT

4. Da das heutige Berufsbild des Lotsen in der Antike nicht existierte, so daß der Aufgabenbereich des κυβερνήτης zwangsläufig im Prinzip etwas weiter war als der des heutigen Steuermanns großer Schiffe, bleibt die Frage einer möglichst treffenden deutschen Übersetzung des Wortes " κυβερνήτης ".
Lang stellt zurecht fest, daß (a) die Übersetzung "Lotse" das Gemeinte nicht trifft, und daß (b) die Übersetzung mit "Steuermann" (abgesehen von der von Ducrocq und uns beeinflußten kybernetischen Literatur) üblich ist. Unabhängig von (den Kybernetiker naturgemäß nicht interessierenden) philologischen Überlegungen liegt hier einfach ein Umcodierungsproblem vor, wobei als Maß für die Güte der Wortzuordnung die Hammingdistanz in einem relevanten binären Merkmalraum dienen könnte. Aus den Ausführungen von Lang können sechs solcher Merkmale entnommen werden, mittels welcher unterschieden werden kann zwischen κυβερνήτης, Mann am Steuerruder, Lotse, Steuermann großer bzw. kleiner Schiffe und (bei Lang nicht genannt) Rudergänger:

(a) Er ist Vertreter des Kapitäns (gehört damit also auch zur ständigen Schiffsbesatzung, d.h. ist nicht nur beim Durchfahren eines bestimmten Reviers an Bord).
(b) Er ist ein hinsichtlich der Schiffsführung besonders erfahrener und befähigter Seemann (was z.B. durch höchste Befähigungszeugnisse dokumentiert sein kann).
(c) Er befiehlt die (bzw. berät zumindest bei der) Einstellung des Steuerruders.
(d) Er hat die Hand nicht selbst am Griff des Steuerruders.
(e) Er erhält selbst niemals Befehle oder Ratschläge, welche nicht nur das Gesamtziel sondern auch einzelne Steuermaßnahmen beträfen.
(f) Er steht mit dem Kapitän in einem Vertragsverhältnis, das dem eines selbständigen Fachmanns, nicht dem eines Untergebenen, entspricht.

Die ersten fünf Merkmale treffen nach dem Text von Eberhard Lang sicher, das sechste wahrscheinlich auf den κυβερνήτης zu. Ob die Merkmale auf die einzelnen anderen Rollenträger zutreffen, ist in der Tabelle 1 beantwortet. Daraus ergeben sich durch Zählung der abweichenden Merkmale die Hammingabstände der beiden griechischen Rollen von den vier Rollen der modernen Schiffahrt (Tabelle 2). Während dabei eine vollbefriedigende deutschsprachige Codierung für den Mann am Steuerruder gefunden werden kann, nämlich "Rudergänger", bleibt die Umcodierung von κυβερνήτης strittig: "Lotse" ist (gemäß diesem Kalkül!) um eine Distanzeinheit treffender als "Steuermann auf großem Schiff"; die Hammingabstände zu κυβερνήτης vertauschen sich, falls das strittige Merkmal auf diese Rolle nicht zutreffen sollte.

Was folgt daraus für den didaktischen Einstieg in die Kybernetik? Wenn man die besonders anschauliche Situation einer Schiffahrt eines kleinen Schiffes in einem

| | Rolle \ Merkmal | a | b | c | d | e | f |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Antike | Κυβερνήτης | ja | ja | ja | ja | ja | ja (nein?) |
| | Mann am Steuerruder | nein | nein | nein | nein | nein | nein |
| Gegenwart | Lotse | nein | ja | ja | ja | ja | ja |
| | Steuermann auf großem Schiff | ja | ja | ja | ja | nein | nein |
| | Bestmann (Steuermann auf kleinem Schiff) | ja | nein | nein | nein | nein | nein |
| | Rudergänger | nein | nein | nein | nein | nein | nein |

Tabelle 1

Trifft Merkmal zu?

| antike Rolle \ gegenwärtige Rolle | Lotse | Steuermann auf großem Schiff | Bestmann (St. a. kl. Sch.) | Rudergänger |
|---|---|---|---|---|
| Κυβερνήτης | 1(2?) | 2 (1?) | 5 (4?) | 6 (5?) |
| Mann am Steuerruder | 5 | 4 | 1 | 0 |

Tabelle 2

Hamming-distanz

Fahrwasser mit Lotsenzwang zugrundelegt, dann kann man zwar den Lotsen als Träger der κυβερνήτης-Rolle ansprechen, jedoch gab es diese Situation in der antiken Seefahrt gerade nicht, so daß eine deutsche Übersetzung von κυβερνήτης mit "Lotse" künftig unterbleiben sollte. Die Übersetzung mit "Steuermann" dagegen, (selbst wenn sie voll befriedigend wäre, was sie nach Tabelle 2 nicht ist), verwirrt aus zwei anderen Gründen: (a) die deutsche kybernetische Fachterminologie unterscheidet die Begriffe der "Regelung" und der "Steuerung", wobei nur dem Rudergänger, nicht aber dem ihm befehlenden Steuermann eine Steuerungsfunktion zuzuschreiben ist; (b) der nautische Laie glaubt vielfach, der Steuermann halte selbst den Griff des Steuerruders, d.h. er kennt die Funktion des Rudergängers nicht. - Es ist also zweckmäßig, künftig beim didaktischen Einstieg in die Kybernetik auf eine Auseinandersetzung mit dem Wortursprung völlig zu verzichten. (Beim Verallgemeinern über den nautischen Bereich hinaus würden die obigen Merkmale ohnehin problematisch, und nicht von ungefähr verläßt ja auch in der von Lang erwähnten Karikatur des "Punch" zu Bismarcks Abgang von der Politik der Lotse das Schiff!) Die Kybernetik hat, so gesehen, so wenig mit dem κυβερνήτης zu tun, wie die Astronomie mit der bloßen Namensgebung für Gestirne, die Psychologie mit der "Seele" oder die Philosophie mit der "Liebe" zur "Weisheit" - es sei denn, man definiert (willkürlich) in dem verallgemeinerten Instanzenschema die Vereinigung von Rezeptor-, Effektor- sowie Regelungs- und Planungsinstanz als Instanz des Kybernetes. Dies beabsichtigen wir künftig zu tun - womit übrigens die Interpretation des Schemas im soziotechnischen Bereich einfacher wird. Dies beabsichtigen wir, künftig zu tun - womit übrigens auch die Interpretation des Schemas im soziotechnischen Bereich einfacher wird.

Oktober 1968

Helmar Frank



*EBERHARD LANG INNSBRUCK*

# Zur Geschichte des Wortes Kybernetik

GLIEDERUNG

## 1. Einleitung

1.1. Mit der vorliegenden Arbeit soll ein Beitrag zur Wortgeschichte von "Kybernetik" und zum Verhältnis von Staatslehre und Kybernetik geleistet werden. Kybernetik wird heute vielfach in einem sehr weiten Sinn verstanden, etwa bei Karl Steinbuch als eine "Sammlung bestimmter Denkmodelle und deren Anwendung im technischen und außertechnischen Bereich"[1]. Neben den technischen Wurzeln der Kybernetik (Regelungslehre, Nachrichtenübertragungstechnik und Nachrichtenverarbeitungstechnik) werden mitunter auch die mathematischen Methoden zu Wesensmerkmalen der Kybernetik erklärt[2]. Einen weiten Umfang hat die Begriffsbestimmung der Kybernetik auch nach Wolfgang Wieser: Kybernetik ist eine Theorie des Verhaltens komplexer Systeme, die der Regel- und Informationstheorie übergeordnet ist[3]. Das Hervorheben des Begriffes "System" macht eine "Systemforschung" oder "Systemanalyse" notwendig, damit wiederum sind die Methoden von Operations Research verwandt[4]. Das zeigt ebenso wie die Betonung von Information, Nachrichtenverarbeitung, Kommunikation, Lerntheorie, der Unterscheidung von sieben Teilbereichen der Kybernetik (Allgemeine Kybernetik, Informationswissenschaft, Biokybernetik, Ingenieurkybernetik, kybernetische Soziotechnik, kybernetische Maschinentechnik, kybernetische Biotechnik) bei Helmar Frank[5] oder anderen verschiedenen Kombinationen mit dem Wort Kybernetik wie Wirtschafts-, Organisations-, Planungs-, Betriebskybernetik, Soziale Kybernetik, daß eine einhellige Begriffsbestimmung von Kybernetik notwendig wäre, die aber noch nicht vorliegt. Und wenn etwa der Franzose Louis Couffignal die Kybernetik nicht als Wissenschaft, sondern als eine Kunst, um Aktionen wirksam zu machen, charakterisiert[6], so wird damit eine schon dem Altertum bekannte Unterscheidung von Téchne (Ars = Kunst) und Epistéme (scientia = Lehre) wieder aktuell, die man auch in der modernen Logik und mathematischen Grundlagenforschung antrifft[7].

Bevor man also einem Vorschlag, an Stelle des wenig schönen Wortes "Kybernetik" im Deutschen von "Steuerungslehre oder -kunst" oder allenfalls von "Regelungslehre" zu sprechen[8], folgen kann, muß erst innerhalb der über Fakultätsgrenzen und Wissenschaftsgliederungen wirkenden Kybernetik eine gewisse Übereinstimmung über Grundbegriffe, Methoden und Abgrenzung erzielt worden sein. Besser ist es jedoch, an Stelle dieser eng am griechischen Ursprungswort haftenden Bestimmung als Steuerungs- oder Regelungslehre die weite, die verschiedenen Teildisziplinen umfassende Begriffsbestimmung der Kybernetik als Theorie informationeller Strukturen[9] oder Systeme zu verwenden. Das wird auch durch die Bemerkung Norbert Wieners bestätigt, daß er ursprünglich nach einem griechischen Wort für "Bote" gesucht hat, und erst, als sich kein geeignetes Wort dafür fand, aus kybernétes "Kybernetik" gebildet hat.

1.2 Eine Darlegung der Geschichte des Wortes "Kybernetik" mag demnach überflüssig oder als modische sprachgeschichtliche Spielerei erscheinen. Es genügt vielleicht auch nicht, auf einen Satz von Theodor Haecker zu verweisen: "Wer das Wort zuerst hat, hat auch zuerst die Sache oder doch zuerst sie ins Bewußtsein erhoben" [10]. Eine Wortgeschichte von "Kybernetik" kann aber aus mehreren Gründen gerechtfertigt werden: Es hat sich nämlich beim Wort "Kybernetik" gezeigt, daß eine fehlerhafte Übersetzung (kybernétes sei mit "Lotse" zu übersetzen) Ausgangspunkt für Folgerungen war, die zumindest sprachlich nicht gedeckt sind. Zudem läßt sich aus der Geschichte und Bedeutung des Wortes kybernétes im Griechischen wie gubernator im Lateinischen ein enger Zusammenhang mit dem Bereich des Staates nachweisen, wurde doch das Bild des Steuermanns in der antiken Literatur vielfach für den Staatsmann oder Regenten verwendet. Auf das griechische Wort kybernétes gehen aber auch politische Fachtermini wie Gouverneur, Gouvernement und Gubernium zurück. Schließlich hat die Bezeichnung "Kybernetik" Vorläufer in der Lehre von der Kirchenverfassung in der Praktischen Theologie sowie in einem politischen Sinn bei André-Marie Ampère.

Infolge dieser wortgeschichtlichen Beziehungen von Kybernetik und dem Bereich des Politischen im allgemeinen untermauert eine Darlegung der Herkunft des Wortes auch sprachgeschichtlich die im Titel einer Arbeit des Verfassers "Staat und Kybernetik" ausgesprochene Verknüpfung [11]. Es wird damit auch ein Satz von René Marcic bestätigt, daß die Kybernetik, eingeschränkt als eine Lehre vom normativen Verfahren verstanden, nur eine neue Bezeichnung für eine alte Sache sei, nämlich für die Politik im Sinne des Aristoteles als rechtliche Regelung der Existenz des Menschen, der in der Polis lebt [12].

## 2. Ursprung und Ableitungsformen des Wortes Kybernétes

2.1 In seiner herrschenden Verwendung geht das Wort "Kybernetik" auf den 1964 verstorbenen amerikanischen Mathematiker Norbert Wiener zurück. Wiener veröffentlichte im Jahre 1948 ein Buch unter dem Titel "Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine" und begründete damit einen neuen wissenschaftlichen Zweig. In seiner Autobiographie "Mathematik - Mein Leben" berichtet Norbert Wiener über das Zustandekommen des Titels dieses genannten Buches. Das Buch sollte von Vorhersagetheorie und Reglergeräten handeln, in engem Zusammenhang mit den Wiener vorschwebenden neuen Ideen von Regelung, Kommunikation und Organisation [13]. Erst suchte Wiener nach einem griechischen Wort, das "Bote" bedeutet. Das Wort Angelos war aber wegen seiner spezifischen Bedeutung Engel nicht zu verwenden. "Dann suchte ich" - schreibt Wiener - "ein passendes Wort aus dem Gebiet der Steuerung und Re-

gelung. Das einzige Wort, das mir einfiel, war das griechische Wort für Steuermann, kybernétes. Ich bildete daraus das Wort 'Kybernetik'". Norbert Wiener schreibt weiter: "Für den Ausdruck Kybernetik sprach bei mir, daß er das beste Wort war, das ich finden konnte, um Technik und Wissenschaft der Regelung in den gesamten Gebieten zu bezeichnen, wo dieser Begriff anwendbar ist"[14].

2.2 Norbert Wiener bildete also das Wort "Kybernetik" nach dem griechischen Wort kybernétes (von kybernáo = ich steuere; alte Form kybernáter). Dieses Wort ist aber ziemlich sicher gar nicht griechischen Ursprungs, sondern läßt sich noch weiter zurückverfolgen. Es geht auf eine wahrscheinlich nichtindogermanische Sprache zurück, die einer vor der Einwanderung der Griechen im Raum des heutigen Griechenlands wohnenden Bevölkerung zugehörte. Die Wissenschaft bezeichnet heute diese altmediterrane Bevölkerung als "ägäisch", die Griechen nannten sie Eteokreter, Karer, Leleger oder Pelasger[15]. In der Sprachwissenschaft ist die Frage umstritten, inwieweit auch das vorgriechische Sprachsubstrat des "Pelasgischen" schon als ein Zweig der indogermanischen Sprachfamilie anzusehen ist[16]. Es ist aber zu unterscheiden zwischen den von antiken Autoren erwähnten Pelasgern und der heute von Vertretern der Sprachwissenschaft rekonstruierten "pelasgischen" Sprache, die wohl nicht den Pelasgern zuzuschreiben ist[17]. Wahrscheinlich ist das vorgriechische Sprachsubstrat uneinheitlich; über einer älteren nichtindogermanischen Sprachschicht liegt möglicherweise eine jüngere indogermanische, aber nichtgriechische Schicht. Sicheres läßt sich über die vorgriechische Sprache oder Sprachen nicht sagen. Eine nichtindogermanische Sprache beziehungsweise Sprachfamilie dürfte im ganzen Mittelmeerraum verbreitet gewesen sein, wobei zwischen einem Hispano-Kaukasischen und einem Eurafrikanischen Sprachsubstrat unterschieden wird[18].

Die ägäische, prähellenische Bevölkerung unterschied sich nicht nur in der Sprache, sondern auch im Aussehen und in den Lebensformen stark von den Griechen. Wie die Ausgrabungen von Sisklo, Tiryns und auf Kreta deutlich beweisen, hatte diese prähellenische Bevölkerung schon eine ziemlich hohe Kulturstufe erreicht. Vor allem eine große Anzahl städtischer Siedlungen wurde archäologisch festgestellt[19]. Entsprechend der Wirtschaftsform des Acker- und Gartenbaus war diese vorgriechische Bevölkerung wohl mutterrechtlich organisiert[20].

2.3 Nach herrschender Ansicht hat die Landnahme der indogermanischen Griechen um 1950 - 1900 vor Christus begonnen[21] und setzte sich dann in mehreren Wellen fort. Die prähellenische Bevölkerung wurde zwar von den Griechen unterworfen, hat aber vor allem in der Sprache der Griechen deutlich erkennbare Spuren hinterlassen. Die Griechen haben sich als das politisch führende Element

gegenüber den schon hochzivilisierten vorindogermanischen Bewohnern durchgesetzt, scheinen aber zahlreiches altmediterranes Zivilisationsgut in ihre Lebensbereiche während einer längeren Periode friedlichen Nebeneinanderlebens übernommen zu haben[22]. So gehen viele Pflanzen- und Metallnamen, Namen von Örtlichkeiten, aber auch Begriffe aus der Sphäre der Schiffahrt und des Fischfangs auf die altmediterrane Bevölkerung zurück[23].

Das Wort kybernáo als Ausdruck aus dem Begriff des Schiffahrtwesens geht nun nach Meinung mancher Gelehrter auf das vielleicht schon indogermanische Pelasgische zurück[24]. Von anderen Wissenschaftlern wird eine fremde, nichtindogermanische Herkunft aus der Sprachfamilie der alten Mittelmeervölker angenommen[25]. Da die Griechen aus dem Festlandinnern, vermutlich aus dem Gebiet der ungarischen Tiefebene, in den Raum der Ägäis kamen, ist es wenig verwunderlich, daß ihnen Ausdrücke für Schiffahrt und Fischfang fremd gewesen sind und sie daher Worte der ägäischen Urbevölkerung übernommen haben. Man kann daher sagen, daß aus dem modernen Wort "Kybernetik" ein Mittelmeervolk der Steinzeit zu uns spricht[26].

2.4 Die Wortgeschichte von kybernétes läßt sich vom Griechischen weiter ins Lateinische verfolgen. Möglicherweise gelangte das Wort nicht unmittelbar, sondern über die Sprache der Etrusker - unter Wechsel von Tenuis zu Media, von k zu g - als griechisches Lehnwort in die lateinische Sprache[27]. Das ist nicht unwahrscheinlich. Die Etrusker waren nämlich ein eng mit dem Meer verbundenes Volk, als Tyrrhener waren sie im Altertum als Seeräuber gefürchtet und mit ihrer "Thalassokratie" waren sie Rivalen der griechischen Seemacht, und ihre Sprache gehört vielleicht zu einer vorindogermanischen Sprachfamilie[28]. Andere Ansichten neigen entweder dazu, daß das lateinische Wort gubernare unmittelbar dem "Ägäischen" entnommen wurde oder daß die Römer das Wort erst aus dem Griechischen bezogen und abgewandelt hätten. Für letztere Auffassung spricht, daß die Römer erst spät mit dem Meer und der Seefahrt vertraut wurden.

Für das Lateinische weist der Thesaurus linguae latinae neben gubernator[29] und gubernare zahlreiche abgeleitete Wörter aus[30].

2.5 Aus dem Latein wurde das Wort gubernare mit seinen Ableitungen in die Romanischen Sprachen wie Italienisch, Spanisch, Portugiesisch, Französisch übernommen[31]. Vom Französischen wiederum kamen Gouvernante, Gouverneur, Gouvernement ins Deutsche und auch das englische government geht mit seinen verschiedenen Ableitungen auf das französische gouverner zurück[32]. Mit dem englischen Wort "governor" (Statthalter oder Regulator) schließt sich der Kreis dieses historischen Überblicks über Ausgangspunkt und Abwandlungen des Wortes

kybernétes, das wiederum Basis für die Bezeichnung "Kybernetik" war. Dazu sei noch einmal Norbert Wiener zitiert: "Wir haben beschlossen, das ganze Gebiet der Regelung und Nachrichtentheorie, ob in der Maschine oder im Tier, mit dem Namen "Kybernetik" zu benennen, den wir aus dem griechischen ´kybernétes´ oder ´Steuermann´ bildeten. Durch die Wahl dieses Ausdruckes möchten wir anerkennen, daß die erste bedeutende Schrift über Rückkoppelungsmechanismen, ein Artikel über Fliehkraftregler, von Clerk Maxwell im Jahre 1868 veröffentlicht wurde, und dieses englische Wort ´governor´ für Fliehkraftregler ist von einer lateinischen Verfälschung von kybernétes abgeleitet. Wir wollen auch auf die Tatsache verweisen, daß die Steuermaschine eines Schiffes tatsächlich eine der ersten und am besten entwickelten Formen von Rückkoppelungsmechanismen ist " [33].

## 3. Bedeutung und Bedeutungswandel von kybernétes

3.1 Nach diesem knappen geschichtlichen Überblick über die Ableitungen des der Bezeichnung "Kybernetik" zugrundeliegenden Stammwortes in verschiedenen Sprachen sollen jetzt die Bedeutungen von kybernétes und kybernáo und der Ableitungen sowie der Bedeutungswandel, dem diese Worte unterlagen, dargelegt werden. Der wortgeschichtliche Überblick ergab für das Wort "Kybernetik" einen Kreislauf durch die Geschichte: Das englische Wort governor geht auf das griechische kybernétes zurück und war Anregung dafür, daß Norbert Wiener eben auf dieses griechische Ausgangswort zurückgriff, um seinen verschiedenen, auf eine interdisziplinäre Wissenschaft hinzielenden Vorstellungen einen Namen zu geben.

Die ursprüngliche und eigentliche Bedeutung von kybernétes ist Steuermann, der als erster Offizier auf dem Hinterdeck eines Schiffes kommandierte; kybernãn bedeutet Steuermann sein, als Steuermann lenken, steuern [34]. Im Zusammenhang mit kybernétes sind noch zwei griechische Worte zu beachten: oíax bedeutet den Griff am Steuerruder, die Pinne; dieses Wort ist sicherlich indogermanisch und bezeichnet ursprünglich die Ösen oder Ringe am Joch für das Zügelwerk, und beweist damit, daß die aus dem Festlandinneren an die Küste gewanderten Griechen Ausdrücke für die ihnen bekannteren, von Pferden gezogenen Wagen auf die Schiffe übertragen haben. Darin liegt wahrscheinlich der Ausgangspunkt für alle späteren Verbindungen und Vergleiche von Schiff und Wagen, von Steuern und Wagenlenken [35]. Das Verbum oiakízo wird in der Literatur bisweilen synonym mit kybernáo verwendet. Tò pedálion bezeichnet das Steuerruder; dabei ist zu berücksichtigen, daß im Altertum kein festes Steuerruder bekannt war, sondern Steuerriemen (bei Homer noch ein einziger, bei den

größeren Schiffen später zwei) verwendet wurden, die sich von den zum Rudern gebrauchten nur durch größere Länge und die Breite des Blattes unterschieden[36]. Auf noch etwas ist gerade in den Epen Homers zu achten, nämlich auf den Zusammenhang, in dem das Wort kybernétes steht. Denn daraus ist die spätere vielfältige Verwendung des Steuermanns als Metapher zu erklären. Am Kap Sunion tötete Apollo den Steuermann des Menelaos, Phrontis, den Sohn des Onetor, "der besser als alle Menschen verstand, ein Schiff im Wirbel der Stürme zu steuern " [37]. "Phrontis" ist nun ein sogenannter "sprechender Name", denn phrónis oder phróntis bedeutet im Griechischen soviel wie Einsicht, Denken, Überlegung, Sorgfalt[38]. Das beweist schon die Wertschätzung und Hochachtung, die man schon im frühen Altertum der Tätigkeit des Steuermanns entgegenbrachte, bildet aber auch die Grundlage für alle späteren Verwendungen des Bildes vom Steuermann in Politik und Kosmologie. In den Epen Homers stehen im Zusammenhang mit dem Steuermann auch andere Wörter, die gerade die Einsicht und zielstrebige Lenkertätigkeit, die "Dominanz des Geistigen"[39] beim Steuermann hervorheben. Diese Worte sind ithýno (später euthýno= ich richte gerade, lenke) und mētis (= Klugheit, Einsicht, Verstand)[40]. Wenn auch bei Homer kybernétes noch nicht in übertragener Bedeutung verwendet wird, so wird doch die zielstrebige und einsichtsvolle Lenkertätigkeit betont und es ist daher richtig, daß die Kunst des Steuermanns in den Augen der Griechen ans Wunderbare grenzte. Denn der Steuermann vermochte den Standort des Schiffes zu bestimmen, er wußte daraus die einzuschlagende Richtung zu folgern und er verstand - wie es Albert Ducrocq formulierte - "die Götter zu versöhnen, so daß das Schiff trotz allen Wechselfällen schließlich doch das vom Kapitän gesetzte Ziel erreichte "[41].

Noch eine Besonderheit sei im Zusammenhang mit der Rolle der Steuerleute in Homers Epen, die ja am Beginn der griechischen und damit der abendländischen Literatur stehen, erwähnt, die Schiffe der märchenhaften Phaiaken (oder Phäaken) auf der Insel Scheria. Ihrem König Alkinoos, dem Vater der Nausikaa, der Odysseus großzügige Gastfreundschaft gewährte, legt Homer folgende Worte über die beseelten Schiffe der Phaiaken in den Mund: "Und sage mir dein Land und Gau und Stadt, damit dich unsere Schiffe, dorthin die Gedanken richtend, hingeleiten mögen. Denn den Phaiaken sind nicht Steuermänner noch Steuerruder, wie sie die anderen Schiffe haben, sondern es wissen diese selber die Absichten und Gedanken der Männer, wissen die Städte und die fetten Äcker von allen Menschen und durchqueren die Meerestiefe auf das schnellste, in Dunst und Wolken gehüllt, und keine Furcht besteht bei ihnen, daß sie je beschädigt oder vernichtet werden "[42]. Erinnert diese Beschreibung der Schiffe der Phaiaken, die kraft ihres Denkvermögens die Wünsche ihrer Besatzung erkennen, nicht an die "Dominanz des Geistigen" in der Bewertung des Steuermanns und ist sie nicht auch ein Ausdruck einer dichterischen Ahnung von "Automaten"? Wie könnte ein

Dichter, dem die physikalischen und technischen Zusammenhänge fremd sind, moderne Rechenmaschinen ("Denkmaschinen") schöner beschreiben?[43]

3.2 Bevor auf die metaphorische Verwendung von kybernétes in der griechischen Literatur etwas näher eingegangen wird, soll noch eine Kontroverse um die Bedeutung von kybernétes behandelt werden.

Der Kybernetiker Helmar Frank hat im Anschluß an die deutsche Übersetzung des Buches "Die Entdeckung der Kybernetik" von Albert Ducrocq[44] ein Schema mit folgenden kybernetischen Instanzen aufgestellt: Kapitän (Sollwertgeber) - Lotse - Steuermann - Ruderer (Antriebssystem) - Außenwelt. Dabei hat Frank die Instanz des Lotsen nicht nur kybernetisch als Träger der Funktion "Programmentwicklung", sondern auch sprachlich Lotse mit kybernétes gleichgesetzt [45]. Die Grundlage für dieses Schema bei Albert Ducrocq lautet in der deutschen Übersetzung[46]: "Der Mensch, der das Ziel festlegt, indem er ein Problem zur Lösung stellt, ist der Kapitän. Unter ihm steht der Lotse; er berechnet die mit dem von ihm befehligten Schiff zum Erreichen des Zieles einzuschlagende Fahrtroute. Auf der untersten Stufe endlich finden wir den Steuermann, der das Steuerruder hält und die Befehle ausführt, die der Lotse ihm erteilt. Nebenbei sei bemerkt, daß diese Teilung der Funktionen schon bei den Griechen klar erkennbar ist. In früheren Perioden wirkte sicherlich der Lotse selbst auf das Steuerruder ein, aber die Dreiteilung entwickelte sich ziemlich rasch: im 2. Jahrhundert unserer Zeitrechnung wird bei Plutarch der Ausdruck 'kybernétes' für den Führer der Steuerleute gebraucht, hier tritt also der Lotse als Zwischenglied zwischen Kapitän und Steuermann auf". In einem Aufsatz hat Johannes Erich Heyde die auch in verschiedenen anderen Werken der kybernetischen Literatur[47] zu findende Übersetzung von kybernétes mit Lotse anhand zahlreicher Lexika zurückgewiesen. Die eigentliche Wortbedeutung sei Steuermann. Heyde weist im einzelnen nach, daß die Griechen, wenn sie das Wort kybernétes verwendeten, stets den Steuermann, nie den Lotsen meinten. Wenn aber die Griechen gelegentlich von einer Tätigkeit berichten, die wir als Lotsendienst bezeichnen würden, dann bezeichneten sie die damit beauftragte Person nicht mit dem Wort kybernétes, überhaupt nicht mit einem eigenen Fachausdruck, sondern mußten eine Umschreibung gebrauchen[48]. Wie Heyde weiter bemerkt, scheint die unrichtige Wiedergabe von kybernétes mit Lotse auf einer fehlerhaften Übersetzung aus dem Französischen zu beruhen, wo das Wort "pilote" sowohl Lotse wie Steuermann bedeuten kann.

Auf das Problem eines Schemas kybernetischer Instanzen wird in dieser Arbeit noch einmal eingegangen werden. An dieser Stelle soll nur darauf hingewiesen werden, daß aus dem Zusammenhang der Formulierung in der deutschen Über-

setzung des Buches von Albert Ducrocq wohl klar hervorgeht, daß nicht der Lotse in dem heute im Deutschen gebräuchlichen Sinn gemeint sein kann. Unter Lotse versteht man durchwegs einen besonders revierkundigen Nautiker, der entweder den Kapitän während der Fahrt des Schiffes durch sein Revier berät oder die Führung des Schiffes übernimmt. Demgemäß unterscheidet man Beratungslotsen und Führungslotsen, wobei in der Praxis fast nur mehr der erstere vorkommt [49]. Diesen Begriff von Lotse kann Albert Ducrocq nicht gemeint haben. Denn in seinem Buch heißt es unter anderem: Die Griechen bezeichneten als Lotsen denjenigen, der irgendein "System" - in diesem Fall das Schiff und das Vermögen, es in den vom Kapitän gewünschten Hafen zu steuern - beherrschte. Oder auf derselben Seite: "Man bedenke weiterhin, daß es weder geographische Karten noch Navigationsinstrumente gab. In dieser Welt der unbekannten Mächte brachte es der Lotse zustande, den Elementen seinen Willen buchstäblich aufzuzwingen; er wußte sein Schiff in langen Tagen der Fahrt zum vorbestimmten Ort zu führen "[50]. Und an anderer Stelle: Unter dem Kapitän steht der Lotse." Er ´berechnet´ die mit dem von ihm befehligten Schiff zum Erreichen des Zieles einzuschlagende Fahrtroute. Auf der untersten Stufe endlich finden wir den Steuermann, der das Steuerruder hält und die Befehle ausführt, die ihm der Lotse erteilt"[51]. Gerade an diesem letzten, schon oben erwähnten Zitat aus der deutschen Übersetzung wird klar, daß Ducrocq nicht zwischen "Lotsen" und "Steuermann" unterscheiden will, zumindest nicht in der Bedeutung, die diese beiden Worte heute im Deutschen haben (Lotse als revierkundiger Schiffsberater, Steuermann als erster Schiffsoffizier). Vielmehr soll auf den Unterschied in der Funktion und in der Person aufmerksam gemacht werden. Das wird sofort einsichtig, wenn man einen Kenner des antiken Seewesens, Franz Miltner zitiert: Im Steuermann (kybernétes - gubernator) hat man den ersten Offizier des Schiffes zu erkennen. In seinen Händen lag die gesamte Navigation. "Jedenfalls führt der Kybernetes für gewöhnlich nicht selbst das Ruder; dazu bedient er sich anderer Leute, gewöhnlich der besten Ruderer aus der Mannschaft. In kritischen Fällen, im Kampf und bei schwerem Wetter wird natürlich der Kybernetes sich auch selbst ans Ruder gestellt und es bedient haben "[52]. Die Quelle für die Stufenleiter vom Ruderer bis zum Steuermann ist die Komödie "Die Ritter" des Aristophanes[53], wo es heißt: "Man müsse zuerst an dem Ruder stehn, bevor man ans Steuer sich setze, dann müsse man noch auf dem Vordeck erst dienen und achten des Windes, bis zu lenken das Schiff auf eigene Hand man vermöge." Die Hierarchie geht also - von oben nach unten - vom Steuermann (kybernétes) über den Vorschiffsmatrosen (Untersteuermann) zum Mann am Steuerruder und schließlich auf der untersten Stufe zum Ruderer. Das Wesentliche ist die Unterscheidung vom Steuermann als erstem Schiffsoffizier, dem die gesamte nautische Obsorge obliegt, und dem Mann, der tatsächlich das Steuerruder am Griff hält. Letzterer

kann natürlich in verfänglicher Kürze auch als "Steuermann" bezeichnet werden, dann muß man für die ihm vorgesetzte Person eine andere Bezeichnung wählen. Die Bezeichnung mit "Lotse" ist aber zumindest im Deutschen nicht angebracht, weil eben "Lotse" wie oben dargelegt eine spezifische Bedeutung hat. Aus diesem Grunde sollte jede Gleichsetzung von kybernêtes mit Lotse und selbstverständlich auch die Übersetzung von Kybernetik mit Lotsenwissenschaft vermieden werden. Kybernêtes ist mit Steuermann wiederzugeben, Kybernetik - wenn man sich an das griechische Ausgangswort halten will - mit Steuerungslehre oder -kunst und die kybernetische Instanz innerhalb des Regelkreises nach dem Steuermann (kybernêtes) mit "Mann am Steuerruder", weil leider ein besserer Ausdruck kaum möglich ist. Untersteuermann hat auf dem antiken Schiff eine spezifische Bedeutung, nämlich als proreûs (lateinisch proreta) am Vorderschiff den Wind und die Fahrbahn des Schiffes zu beobachten und davon den übergeordneten Steuermann (kybernêtes) zu verständigen[54]. Bei der Flußschifffahrt (wie auf dem Nil) war der am Vorderschiff Stehende allerdings fast wichtiger als der Steuermann, weil er mit einem Stab oder Suchlot die Wassertiefe zu messen hatte[55]. Vielleicht könnte man die Bezeichnung "Hilfssteuermann" anstelle von "Mann am Steuerruder" verwenden.

Wenn hier nun die Problematik der Übersetzung von kybernêtes schon einmal angeschnitten wurde, so muß auch darauf aufmerksam gemacht werden, daß kybernêtes wohl meist mit Steuermann wiederzugeben ist, aber zuweilen auch mit Schiffskapitän. Der Grund dafür liegt darin, daß im alten Griechenland auf den Frachtschiffen der Händler typisch gewesen sein mag, der mit seinem einzigen Fahrzeug die Funktion des Händlers, Kapitäns und Steuermanns in einer Person vereinigend von einem Hafenplatz zum anderen fuhr[56]. Da sich aber in den uns zur Verfügung stehenden Quellen bisweilen auch eine genaue Scheidung von Schiffskapitän und Steuermann nachweisen läßt, ist die Bedeutung des Wortes kybernêtes aus dem jeweiligen Sinnzusammenhang des Textes zu schließen. Daher sind auch manchmal die Übersetzungen in moderne Sprachen verschieden[57]. Diese Frage der Identität oder Verschiedenheit von Steuermann und Kapitän, von gubernator und magister navis bei den Römern, hat in der Forschung über das antike Seewesen und auch im rechtsgeschichtlichen Bemühen um Aufhellung der Organisation und Haftung auf den Schiffen der Griechen und Römer einige Probleme aufgeworfen, auf die weiter unten noch eingegangen wird. Als Beispiel für die notwendige Wiedergabe von kybernêtes mit Kapitän sei auf ein Hafengesetz über den Weinhandel auf der Insel Thasos hingewiesen, wo ausdrücklich der kybernêtes für die Übertretung haftbar gemacht wird[58]. Sehr zahlreiche Beispiele finden sich in den Papyri, den ägyptischen Urkunden aus Papyrus;[59] der Grund für diese Gleichsetzung ist wohl, daß die Transportschiffer in Ägypten eben Steuermann und Kapitän zugleich waren. An der Grundbedeutung von ky-

bernétes = Steuermann ändert sich durch diese Beispiele nichts; die Rolle des Kapitäns kommt eben zu der des Steuermanns noch hinzu.

3.3 Die hohe Achtung, die man bei den Griechen dem Steuermann eines Schiffes entgegenbrachte, seine Vertrautheit mit dem Meer, den Strömungen, dem Wind, seine Kenntnisse fremder Länder, von Untiefen und Klippen, seine Verbundenheit mit dem Kosmos, den Sternbildern sind der Hintergrund dafür, daß der Steuermann in der griechischen Literatur oft als Vergleich und bald auch als Metapher in den verschiedensten Zusammenhängen verwendet wird. Der Steuermann, der den Naturgewalten trotzt, wird als ein Symbol für das menschliche Leben aufgefaßt, das in einer unaufhebbaren Dialektik von Geborgenheit und Ungeborgenheit besteht[60)].

Die erste übertragene Bedeutung von kybernétes findet man in der griechischen Literatur bei dem Chorlyriker Alkman (um 650 - 600 vor Chr.) im Sinne von Lenken eines Chores[61)].

Die von dem Lyriker Alkaios (um 600 v. Chr.) verwendete Allegorie vom Staatsschiff und die damit zusammenhängende, in der antiken Literatur sehr häufige Verwendung des Vergleichs von Staatsmann und Steuermann wird weiter unten eigens dargelegt werden. Bei Pindar (etwa 520 - 445 v. Chr.) wird in einem Siegeslied auf einen Preisträger der Isthmischen Spiele von der einsichtsvollen Lenkung eines Trainers gesprochen, also kybernân wieder in Zusammenhang mit der Einsicht verwendet[62)].

Bei dem jonischen Naturphilosophen Anaximander aus Milet (etwa 610 - 540 v. Chr.), in dessen Philosophie das Unbegrenzte (tò ápeiron) der Zentralbegriff ist, taucht erstmals die Formulierung pánta kybernân (alles - oder besser: das All[63)] - steuern, lenken) auf[64)]. Diese Wendung wird in der Folge geradezu ein Topos, ein Gemeinplatz in der Philosophie, wobei je nach philosophischer oder kosmologischer Anschauung und Lehre die einzelnen Philosophen ein anderes Subjekt anstelle des Apeiron einsetzen. So sagt Heraklit (circa 550 - 480 v. Chr.) in einem überlieferten Fragment: "Eins nur ist das Weise, sich auf den Gedanken zu verstehen, als welcher alles auf alle Weise zu steuern weiß"[65)]. Als Urheber des Steuerns wird hier der Gedanke (he gnóme) oder die Einsicht verwendet, und dabei wird wiederum der Zusammenhang von Einsicht und Steuermann deutlich. Bei dem Gründer der eleatischen Schule in Süditalien, Parmenides (um 515 - 445 v. Chr.) ist es inmitten des Weltalls "die Göttin (he daímon), die alles lenkt"[66)]. Weitere Subjekte des Steuerns oder Lenkens sind unter anderem in der Folgezeit Zeus, Tyche (die Schicksalsgöttin oder das Schicksal), die Luft

und Physis (die "Natur") [67]. Im Lateinischen verwendet beispielsweise Cicero an verschiedenen Stellen das Verbum gubernare für das Lenken der Welt durch Gott[68].

3.4 Eine große und nachhaltige Wirkung auf die metaphorische Verwendung des Zeitwortes kybernân und des Hauptwortes kybernétes ging von Plato (427 - 347 v. Chr.) aus, der durch eine konkretisierende poetische Metaphorik seine abstrakten Gedankengänge veranschaulichen wollte [69]. Besonders die Analogie Schiff - Staat - Weltall oder Steuermann - Staatsmann - Gott ist deutlich erkennbar. So findet sich im Dialog "Politikos" (= Staatsmann) ein Mythos über die gegenläufigen Weltperioden und darin die Wendung vom "Steuermann des Ganzen" (kybernétes toû pantòs)[70], der nach der Entstehung allen Lebens und nachdem alle Menschen glücklich lebten ("jegliche Seele alle ihre Entstehungen durchgemacht hatte"), "gleichsam den Griff des Ruders fahren ließ und sich auf seine Warte zurückzog." "Die Welt aber bewegte nun wiederum rückwärts das Geschick und die ihr eingepflanzte Begierde". Wenn die Unordnung und Verwirrung unter den Bewohnern der Erde aber überhand nimmt, ergreift der Steuermann des Alls wieder das Ruder, wendet das Geschehen um und stellt "alles wieder ausbessernd die Welt unsterblich und alterslos" wieder her.

Dieser Mythos über den Steuermann des Ganzen ist in der weiteren Folge des Dialogs "Politikos" Vorbild für die Analyse der Herrscherkunst als Kunst der Leitung der menschlichen Herde (275 a ff.). Zugleich tritt aber in diesem Mythos sehr klar die zyklische Zeitauffassung der Griechen hervor. Darüber nun einige Bemerkungen.

Die moderne Zeitauffassung ist linear, fortschreitend, gerichtet, zielstrebig. Sie ist geprägt von der jüdisch-christlichen Tradition. Gott hat einmal die Welt geschaffen, er hat Moses an einem bestimmten Ort und zu einer bestimmten Zeit die zehn Gebote gegeben. Jesus Christus als Messias, auf den nach christlicher Lehre der Alte Bund ausgerichtet war, rettete ein für alle Mal die Welt, und das gesamte geschichtliche Geschehen ist ausgerichtet auf das Ende, das Gericht über die Welt. Mircea Eliade sagt, daß für das Christentum die Zeit wirklich ist, weil sie einen Sinn hat: die Erlösung, und zitiert sodann Henri-Charles Puech: "Eine gerade Linie bezeichnet den Weg der Menschheit von ihrem anfänglichen Fall bis zur endlichen Erlösung. Und der Sinn dieser Geschichte ist einzigartig, weil die Inkarnation einzigartig ist. In der Tat ... ist Christus für unsere Sünden nur ein einziges Mal, einmal für immer gestorben; es ist nicht ein wiederholbares Ereignis, das zu verschiedenen Malen geschehen könnte. Der Lauf der Geschichte wird also durch ein einmaliges, radikal einzigartiges Geschehen bestimmt und geleitet. Folglich muß auch das Schicksal der gesamten Menschheit, ebenso wie

das individuelle Geschehen eines jeden von uns, in einem Male, einmal für immer, sich abspielen, in einer konkreten und nicht ersetzbaren Zeit, die die Zeit der Geschichte und des Lebens ist "[71]. Der Fortschrittsgedanke und der Begriff der Geschichtlichkeit gehen auf diese christliche Zeitauffassung zurück, sie sind säkularisierte Ideen derselben. Der Mensch empfindet sich heute als das geschichtliche Wesen schlechthin, als Spitze der Evolution.

Ganz anders ist die Zeitauffassung der Griechen und anderer Völker, wie sie aus dem zitierten Mythos aus Platos Dialog "Politikos" entgegentritt. Es sei noch einmal Henri-Charles Puech zitiert[72]: "Beherrscht von einem Ideal der Intelligibilität, die das wahre und vollständige Sein dem gleichsetzt, was in sich ruht und mit sich selbst identisch bleibt, dem Ewigen und Unveränderlichen, hält der Grieche die Bewegung und das Werden für niedere Grade der Wirklichkeit, in denen die Identität - günstigstenfalls - nur noch in Form von Beständigkeit und Dauer, und daher also von Wiederholung wahrgenommen wird. Die kreisförmige Bewegung, die die Erhaltung der gleichen Dinge gewährleistet, indem sie sie wiederholt und ihre ständige Wiederkehr herbeiführt, ist der spontanste, vollkommenste (und deshalb dem Göttlichsten nächste) Ausdruck dessen, was an der Spitze der Hierarchie absolute Unbeweglichkeit ist. Nach der berühmten Definition Platons ist die Zeit, die durch den Umlauf der himmlischen Sphären bestimmt und gemessen wird, bewegliches Abbild der unbeweglichen Ewigkeit, die sie nachahmt, indem sie im Kreis abläuft. Folglich wird sich das gesamte kosmische Werden und ebenso die Dauer dieser Welt des Entstehens und Vergehens in der wir leben, im Kreis vollziehen oder gemäß einer unendlichen Folge von Zyklen, in deren Ablauf dieselbe Wirklichkeit geschieht, sich auflöst, wieder-geschieht, gesetzmäßig und in ewig gleichem Wechsel. Darin wird nicht nur die gleiche Menge an Sein bewahrt, ohne daß etwas verlorengeht oder neu geschaffen wird, sondern einige Denker der ausgehenden Antike - Pythagoreer, Stoiker, Platoniker - haben obendrein die These aufgestellt, daß im Inneren jedes dieser Zyklen der Dauer, dieser Äonen, dieser aeva die gleichen Situationen erzeugt werden, die schon in den vorhergehenden Zyklen erzeugt wurden und in den folgenden Zyklen erzeugt werden --ad infinitum. Kein Ereignis ist einzigartig oder geschieht nur ein einziges Mal (die Verurteilung und der Tod des Sokrates z.B.), sondern es ist geschehen, geschieht und wird unaufhörlich geschehen; dieselben Individuen sind erschienen, erscheinen und werden bei jeder Umdrehung des Kreises um sich selbst wieder erscheinen. Die kosmische Dauer ist Wiederholung und anakyklosis, ewige Wiederkehr".

Die erwähnte Definition Platos von der Zeit als bewegliches Abbild der unbeweglichen Ewigkeit steht im Dialog "Timaios" (37 a). Die zyklische Zeitauffassung ist untrennbar mit den kosmischen Rhythmen verbunden, den Mondphasen

und der Umdrehung des Sternenhimmels. Diese Zeitauffassung entspricht einem "metaphysischen Durst" (Mircea Eliade) nach dem Ontischen und Statischen, dem Gleichbleibenden und ist gegen die Veränderungen, gegen die Zeitlichkeit, gegen die Geschichte gerichtet. Innerhalb dieser zyklischen Zeitauffassung weigert sich der Mensch, sich als historisches Wesen zu betrachten[73], er annulliert geradezu die Unumstößlichkeit der Zeit[74]. Eine Neuigkeit stellt eine Unterbrechung der Norm dar, daher die "Sünden" und "Fehler", die durch eine periodische Regenerierung des Kosmos "ausgetrieben" werden müssen[75]. In der Wiederherstellung der Welt als Wiederholung wird die Zeit und die Geschichte aufgehoben und der Kosmos neugeschaffen. Die Menschheit wird umgestaltet, damit sie wieder zu Kräften kommt; sie wird wie der Neumond ins Gestaltlose zurückgezogen.

Es ist nun nicht so, daß mit der Ausbreitung des Christentums die lineare Zeitauffassung ein für allemal die zyklische verdrängt hätte. Beide Auffassungen sind in der Folge häufig miteinander verwoben: Es wiederholt der Priester in der Heiligen Messe den Opfertod Christi, das Kirchenjahr wiederholt liturgisch Geburt, Wirken und Tod des Erlösers. In verschiedenen Epochen tritt bald diese, bald jene Auffassung in den Vordergrund; so findet sich in neuester Zeit zyklisches Denken im Mythos von der ewigen Wiederkehr bei Friedrich Wilhelm Nietzsche und in den Kulturphilosophien von Oswald Spengler und Arnold J. Toynbee. Für das Mittelalter kann man weithin von einem Vorherrschen des statischen, veränderungsfeindlichen Weltbildes sprechen[76]. Erst seit dem 17. Jahrhundert wird im Abendland die lineare Zeitauffassung die herrschende und durch den Evolutionsgedanken wird ihr um die Mitte des 19. Jahrhunderts endgültig zum Durchbruch verholfen[77].

Hinter beiden Zeitauffassungen - der linearen und der zyklischen - stehen zweifellos Grunderfahrungen des Menschen: 1. Die Veränderung, die Zeitlichkeit - deutlich am Altern des Menschen feststellbar, und 2. die Wiederholung, wie der tägliche Sonnenumlauf, die Mondphasen, die Wiederkehr der Jahreszeiten, was sich auch in verschiedenen biologischen Rhythmen ("Innere Uhr") zeigt.

Dem modernen Menschen ist aus der christlich-jüdischen Tradition die Einmaligkeit des Lebens wesentlich. Der archaische Mensch war traditionsbezogen, den kosmischen Rhythmen verbunden. Für ihn war Veränderung höchstens ein Zeichen bald bevorstehender kosmischer Umwandlung. Der moderne Mensch hat aber eine Freiheit der Gestaltung gewonnen, zudem jedoch eine Geborgenheit im Rahmen "vorgegebener" Ordnungen verloren.

Zur eben erwähnten Erfahrung des Alterns sei ein Satz, der zum Gedanken des Regelkreises überleitet, zitiert: Im Artikel "Altern" des Fischerlexikons, Band

Medizin 1, heißt es: Das Leben ist kein vollendeter Kreisprozeß, "sondern, ... besonders in den bradytrophen Geweben" häufen sich laufend Schlackensubstanzen an. "Semper aliquid haeret! Damit ist auch der Kybernetik als Funktionsmodell für den tierischen und menschlichen Organismus der Boden entzogen. Altern bedeutet also jede irreversible Veränderung der lebenden Substanz als Funktion der Zeit." 78)

Die verschiedenen Zeitauffassungen wurden hier im Anschluß an den Mythos aus dem Dialog "Politikos" Platos deshalb dargelegt, weil es scheint, daß hinter dem Modell des Regelkreises dieselbe Grunderfahrung und Absicht steht wie hinter der zyklischen Auffassung von der Zeit. Bei dieser Behauptung darf man sich nicht nur den z.B. elektrotechnischen, quantitativ beschreibbaren Regelkreis vor Augen halten, sondern den Grundgedanken: Der Regelkreis ist kybernetisch gesehen ein Rückkoppelungskreis, der dazu dient, eine veränderliche Größe von Störeinflüssen unabhängig zu machen, so daß sie stets einen vorgegebenen Wert hat79). Die Konstanthaltung einer Größe gegen jede Veränderung (einschließlich von Veränderungen, die nicht nur zeitlich bedingt sind) ist somit für den Regelkreis wesentlich. Wie im mythischen Zyklus "die gleiche Menge an Sein bewahrt" (Henri-Charles Puech) wird, so ist es beim Regelkreis der bestimmte Soll-Wert einer Größe. Wie der Regler in einem Regelkreis den Istwert mit dem Sollwert "vergleicht", und demgemäß das Stellglied beeinflußt, ist es im Mythos bei Plato der Steuermann des Alls, der, wenn die Unordnung der Welt ein bestimmtes Maß übersteigt, die Welt erneuert. Der Grundgedanke ist derselbe: Ausschaltung von (durch die Zeit bedingten) Veränderungen (= "Störungen").

Das Regelkreisprinzip muß als ein universelles Bauprinzip von Lebensvorgängen angesehen werden. Gerade beim Menschen entdeckt man immer wieder Regelkreise und Regelkreissysteme, die verschiedene, lebenswichtige Größen im menschlichen Körper wie Körpertemperatur, Blutdruck, Blutzuckerspiegel u.a. steuern. Dennoch ist der Prozeß des Alterns ein übermächtiger (zeitlicher) Faktor, dem alle Regelungen letztlich nicht gewachsen sind.

Der mögliche Einwand, das Regelkreismodell werde auch steuernd, auf Erreichung eines in der Zukunft liegenden Zieles gerichtet, verwendet, sagt nichts gegen die hier aufgestellte Behauptung. Denn auch dabei (z.B. wenn einem Steuermann das Ziel, einen bestimmten Hafen anzulaufen, aufgegeben wird) sollen durch Rückkopplung Abweichungen vom rechten Kurs verhindert werden. Etwas grob läßt sich sagen, die Steuerung entspreche mehr einer linearen, der Regelkreis mehr einer zyklischen Auffassung.

Steht nun hinter dem Regelkreisgedanken - dessen Ausformung in der Technik nur eine, meist quantifizierbare Möglichkeit ist - eine Grunderfahrung des Men-

schen (der Wiederholung, der Sehnsucht nach Dauer und Beständigkeit), so ist es auch keine "bedenkliche" Übertragung eines technischen Modells auf zwischenmenschliche Beziehungen, den Staat als einen Regelkreis anzusehen[80]. Vielmehr wird man als selbstverständlich annehmen müssen, daß solche Regelkreise - natürlich nicht immer präzis quantitativ beschreibbar wie in der Regelungstechnik - in allen Bereichen der Wirklichkeit (des Seienden) zu finden sind, wo immer es darum geht, eine Größe oder einen Wert von der zeitlichen Veränderung gänzlich oder für eine bestimmte Dauer auszunehmen. Dabei wird je nach "Regelorgan" Automatik oder Einsicht vorherrschen. So wird etwa die Temperatur im menschlichen Körper bis zu einem gewissen Grade vom Nervensystem reguliert; aber auch der Mensch handelt als "Regler"; wenn er bei kühlem Wetter, bevor er aus dem Haus geht, einen Mantel anzieht, weil er weiß, daß er sich sonst eine Verkühlung zuzieht.

Auch der Vorschlag, staatliche Institutionen müßten und müßten rechtzeitig handeln[81], um Störungen zu beseitigen, braucht dann nicht bloß in Analogie zur Automatik des technischen Regelkreises gesehen werden, sondern als Ausfluß der Aufgabe jeder Regelung, Veränderungen in der Zeit zu verhindern - was nicht möglich ist bei nicht rechtzeitigem Gegenwirken. Es soll hier noch erwähnt werden, daß im Wort "Staat" ja deutlich der Ursprung steckt, etwas Dauerndes und Bleibendes über alle Generationenwechsel hinweg zu erhalten. Im englischen Wort "government" steckt demgegenüber nicht so sehr das Ergebnis der Regelung wie beim Wort "Staat" (von lo stato), sondern das Geschehen selbst, eben das Regeln (englisch to govern).

Um jetzt auf die beiden Worte kybernétes und kybernáo zurückzukommen: Von der ursprünglichen Bedeutung "Steuermann" und "ein Schiff steuern" dringen diese beiden Worte innerhalb der griechischen Literatur in immer weitere Bereiche vor, zuerst in Vergleichen, dann als Bild, um schließlich immer mehr zur abstrakten Bedeutung von "Lenker, Leiter" beziehungsweise "Lenken, Leiten" zu gelangen. Dabei bleibt das Bild der Steuermannskunst als einer verantwortungsvollen und Einsicht erfordernden Tätigkeit immer im Hintergrund.

3.5 Nachdem bisher der Bedeutungsweg der Worte kybernétes und kybernãn von der nautischen bis zur kosmologischen Sphäre skizziert wurde, soll jetzt die Verwendung dieser beiden Worte im Bereich der Politik und damit im engen Zusammenhang, das Bild des Steuermanns für den Staatsmann in der Antike behandelt werden. Vorangestellt seien einige Bemerkungen über die Allegorien des Staatsschiffes und des Staatswagens. Das Bild des Schiffes für den Staat ist heute geradezu eine Banalität und ein beliebtes Objekt für Karikaturisten, wie die berühmte Karikatur des "Punch" über Bismarcks Abgang von der Politik ("Der Lotse verläßt das Schiff") beweist.

Das Bild vom schwer gegen die Wogen ankämpfenden Staatsschiff[82] hat wohl der griechische Lyriker Alkaios (um 600 v. Chr.) geprägt, der in seinen politischen Liedern wiederholt vor der Gefahr der Tyrannis warnt. Die Verse "Wir inmitten treiben im Strom auf schwarzem Schiffe. Das Ungewitter bracht' uns in Todesnot. Schon schlagen Wellen hoch über Bord und Deck"[83] wurden schon im Altertum als Allegorie auf den Staat verstanden. Vorbild dafür waren wohl die Verse bei Homer, die Hektors Ansturm gegen die Griechen schildern und worin als Vergleich das Bild von der wind- und regengeschwellten Woge, die sich auf das Schiff stürzt, gebraucht wird[84]. Nur wenig später, um die Mitte des 6. Jahrhunderts vor Christus, wird die Sorge um das Staatsschiff in der Elegie des Theognis besungen [85].

Gern verwendet die attische Tragödie das Bild vom Staatsschiff, das offensichtlich als besonders lebendig empfunden wurde. Albin Lesky schreibt dazu im Hinblick auf die Zeit nach dem Sieg über die Perser: "Und wie hätte das auch anders sein können zu einer Zeit, da die attische Polis nach der Abwehr der Katastrophe ihren Weg kühn hinauszog in die Weite großer politischer Entwicklungen oder noch größerer Pläne? Da jeder Einzelne mehr denn je seine Existenz auf Gedeih und Verderb mit der des Gemeinwesens verbunden wußte und wahrhaftig dem Fahrgast eines Schiffes auf stolzer und gefährlicher Fahrt zu vergleichen war?"[86]

In Aischylos' (525 - 455 vor Chr.) Tragödie "Die Sieben gegen Theben" heißt es eingangs: "Ihr Kadmosbürger, sagen, was die Zeit gebeut, muß, wer am Ruder wacht des Staats (poléos oíaka), Wohl und Weh bedenkend, niemals schlafbereit sein wachend Aug "[87]. Der Herrscher befindet sich sozusagen auf dem Heck des Staates. Bei Euripides (circa 480 - 406 v. Chr.) stehen in den "Hiketiden" (= "Die Schutzflehenden") die Verse: "Denn wahrlich, anzuklagen ist niemals der Staat, bringt ihn ein schlechter Steuermann in schlechten Ruf "[88]. Demosthenes (384 - 322 v. Chr.) verwendet das Bild des Staatsschiffes zum Beispiel in seiner dritten Philippischen Rede[89].

Von der konkretisierenden poetischen Metaphorik Platons für seine abstrakten Gedankengänge war schon die Rede; sie geht auch aus den folgenden Beispielen der Verwendung des Bildes vom Staatsschiff hervor. So läßt Plato im Dialog "Euthydemos" (291 d) Sokrates ausdrücklich auf den Vers des Aischylos vom "am Steuer des Staates sitzen" Bezug nehmen. Ausführlich malt Plato das Bild vom Staatsschiff im Dialog "Politeia" ("Der Staat", 487 e - 489 d)[90]: "Höre denn mein Bild, damit du besser siehst, wie mühsam ich es bilde" heißt es wörtlich. Plato vergleicht dabei unfähige Staatsmänner (nach Platos Auffassung Nichtphilosophen) mit Schiffsleuten, von denen jeder glaubt, er müsse steuern, aber

nie diese Kunst gelernt hat. Manche von diesen behaupten sogar, man könne diese Kunst nicht erlernen. Diese unfähigen Schiffsleute umlagern den Schiffsherrn und bitten ihn, ihnen doch das Steuerruder zu übergeben; sie töten sich sogar gegenseitig, wenn einer im Vorteil zu sein scheint. Von der Kunst des wahren Steuermanns wissen diese Schiffsleute nicht einmal soviel, daß er notwendig auf die Jahreszeit und die Tageszeit, auf den Himmel, die Sterne und die Winde achthaben muß. Sie meinen hingegen, man könne nicht beides beherrschen, die Kunst und die Geschicklichkeit, ans Ruder zu kommen und die Kunst des Steuerns. Wie nun solche Schiffsleute einen echten Steuermann nur als Wetterpropheten, Buchstabenkrämer und unnützen Mensch bezeichnen, so werde auch der ausgezeichnete Philosoph, der ja der eigentliche Hüter und Führer im idealen Staat sein sollte, als scheinbar unnütz bezeichnet, wenn es in den Staaten so zugeht, wie es im Bild von dem Schiffsherrn und den unfähigen Schiffsleuten beschrieben wurde. Unverkennbar ist an dieser Stelle das auf Sokrates zurückgehende Motiv, daß jede Kunst, hier die des Staatsmannes wie die des Steuermanns, nur von Sachkundigen ausgeübt werden soll, sei er von Natur (phýsis) aus oder durch seine Ausbildung (paideía) dazu befähigt. Im Dialog "Politikos" (302 a, b) sagt der Fremde, daß viele Staaten sich seit undenklicher Zeit in der Situation befinden, daß die Herrscher nach Schriften und Gewohnheiten und nicht nach Erkenntnis ihre Geschäfte verrichten. "Viele Staaten freilich gehen unter, wie leck gewordene Schiffe, und sind untergegangen und werden noch untergehen wegen des Steuermanns und der Schiffsleute Schlechtigkeit, die in den größten Dingen die größte Unwissenheit besitzen und, ungeachtet sie in Staatssachen von gar nichts etwas verstehen, doch meinen, in allen Stücken unter allen Wissenschaften diese gerade am sichersten innezuhaben" [91]. Erstmalig werden hier mehrere Staaten mit Schiffen verglichen. Die Einrichtung eines ununterbrochenen Wächterdienstes für den Staat begründet Plato ebenfalls mit einem Bild aus der nautischen Sphäre: Da ein im Meere dahinsegelndes Schiff stets, bei Tag und bei Nacht, der Obhut bedarf und ebenso ein Staat, im Wogendrang der anderen Staaten sich befindend, in Gefahr ist, Nachstellungen aller Art zu erliegen, so müssen hier immer Obrigkeiten anderen Obrigkeiten vom Tage bis zur Nacht und von der Nacht bis zum Tage die Hand bieten, und Wächter dürfen nie aufhören, an der Wächter Stelle zu treten und ihr Geschäft anderen Wächtern zu übergeben [92].

In der späteren griechischen Literatur findet man das Bild vom Staatsschiff etwa bei Plutarch (ca. 46 - 120 nach Christus). In den Biographien des Phokion und des Cato heißt es über Cato den Jüngeren, daß er zur Teilnahme an der Politik nicht wie Phokion kam, als das Schiff des Vaterlandes schon dem Sinken nahe war, sondern als es mit heftigen Stürmen zu kämpfen hatte, aber nur insoweit, daß er an Segel und Tauwerk mit Hand anlegen konnte, ohne aber ans Steuer-

ruder und an die Lenkung des Schiffes herangelassen zu werden[93]. Mit einem großen, schwerbeladenen Lastschiff ohne Steuermann vergleicht Cassius Dio (150 - 235 n. Chr.) in seiner römischen Geschichte den Staat[94].

Marcus Tullius Cicero (106 - 43 v. Chr.) stand vor allem unter dem Einfluß Platos. Cicero wollte das griechische Bildungsgut den Römern übermitteln. Besonders über die Reden Ciceros bemerkt Richard Heinze, daß darin das den Worten gubernare und gubernator zugrundeliegende, aus dem Griechischen entlehnte Bild vom Staatsschiff noch deutlich als solches empfunden werde[95]. Weiter ausgeführte Bilder wie bei Plato sind allerdings nicht zu finden. Öfters spricht Cicero von den gubernacula rei publicae[96] und vom Staatsschiff ausdrücklich in seiner Rede gegen Piso[97].

In der Dichtkunst greift Horaz (65 - 8 v. Chr.) auf den griechischen Lyriker Alkaios zurück und verwendet die Allegorie vom Staatsschiff[98]. In seinem Werk "Über die Erziehung zum Redner" nimmt Marcus Fabius Quintilianus (35 - 100 n. Chr.) das Gedicht des Horaz als Beispiel für eine Allegorie[99].

Auf diese, teils schön ausgemalten Bilder geht die heutige, ganz selbstverständlich verwendete Ausdrucksweise vom Staatsschiff zurück. So beruft sich René Marcic in einer modernen Abhandlung über den Staatsmann auf das Bild vom Schiff oder Boot und spricht vom nautischen Charakter des Regierens[100]. Eine schöne Stelle steht bei Simone Weil: "Eine wohleingerichtete Gesellschaft wäre jene, in welcher dem Staat gleichsam als einem Steuerruder nur eine negative Funktion zukäme: ein leichter Druck im geeigneten Augenblick, um eine Störung des Gleichgewichts schon im Beginn auszugleichen"[101]. Diese Stelle ist eine Parallele zu dem Versuch, den Staat mit Hilfe des Regelkreismodells zu erfassen. Der Staat, genauer die staatlichen Organe haben rechtzeitig und unter Beobachtung des Prinzips der Verhältnismäßigkeit Störungen der politischen Ordnung zu begegnen.

Für das Mittelalter wurde ein Beispiel für das Bild vom Staatsschiff aus der "Gesta Chuonradi II imperatoris" von Wipo (gestorben um 1050) beigebracht[102]. Als zu Pavia der Königspalast niedergebrannt worden war, soll Konrad II zu den Leuten von Pavia gesagt haben: Wenn der König gestorben ist, ist das Reich geblieben, gleichwie ein Schiff bleibt, wenn der Steuermann fällt.

Vor dem Hintergrund der häufigen Verwendung des Bildes vom Staatsschiff ist der Bedeutungswandel der Worte kybernētes und kybernáo verständlich. Zu erwähnen ist, daß bei den Kirchenvätern auch die Kirche als Schiff gesehen wurde, das in ungeheurer Gefährdung und dennoch in siegreicher Sicherheit über das Meer dieser Erde rauscht[103].

3.6 Es ist auf den ersten Blick etwas verwunderlich, daß bei den Griechen der Vergleich des Staates mit einem Schiff den Vergleich mit einem Wagen völlig in den Hintergrund gedrängt hat. Den Griechen wie auch den Römern war sicher der Wagen gleich bedeutsam wie das Schiff. Das Bild vom Sonnengott Helios, der mit seinem Viergespann täglich über das Himmelsgewölbe fährt, war nicht nur den Griechen und Römern bekannt. Der Wagen war zudem Symbol des Herrschers, die römische sella curulis war einst der königliche Wagensitz oder Wagenthron und in Rom fuhr der siegreiche Feldherr im Wagen zum Kapitol, wobei der Feldherr nur Werkzeug des göttlichen Willens war: Jupiter selbst fuhr auf der Quadriga im Triumph auf das Kapitol[104]. Der Grund für die nicht so häufige Verwendung des Vergleichs von Staat und Wagen dürfte darin liegen, daß die gerade auf politischem Gebiet fein unterscheidenden Griechen merkten, daß es nur einen braucht, um einen Wagen zu lenken, daß aber mehrere zusammenwirken müssen, damit ein Schiff fährt. Das Bild vom Staatswagen hätte also sehr stark eine Tendenz zur Alleinherrschaft innegehabt [105]. Vergleiche von Schiff und Wagen werden jedoch häufig nebeneinander verwendet[106].

Bei Plato ist das Bild vom Wagen des Staates verhältnismäßig ausführlich behandelt. Eine Stelle in der "Politeia" lautet: "Jener Vorsteher aber sitzt nun nicht etwa nur groß in großer Herrlichkeit, sondern, nachdem er viele andere zu Boden geworfen, steht er offenbar in dem Wagen des Staats und lenkt ihn allein und ist nun aus einem Vorsteher vollständig ein Tyrann geworden"[107]. Das Bild vom Staatswagen wird also für den Tyrannen gebraucht, der allein und ausschließlich die Herrschaft ausübt. Cicero dürfte in "De re publica" (I, 68) diese Stelle zum Vorbild genommen haben, wenn bei ihm auch das Bild vom Staatswagen kaum mehr spürbar ist[108]. Im Dialog "Politikos" stößt man auch auf den Vergleich Staatsmann und König mit dem Wagenführer ohne abwertenden Zusammenhang[109]. Wenn auch das griechische Wort für Wagenlenker, heníochos, schließlich auch metaphorisch für Lenker und Leiter verwendet wurde, so hat doch das Bild vom Staatswagen niemals die Bedeutung wie das Bild vom Staatsschiff erlangt; zu deutlich war hier das herrschaftliche Element des einzigen, der die Zügel hält, gegenüber dem mehr genossenschaftlichen Element des Steuermanns, der zusammen mit dem Proreus und den Ruderern das Schiff steuert.

Während das Bild vom Staatsschiff eine typisch griechische Prägung zu sein scheint - auch die Bibel kennt dieses Bild nicht - findet man für das Bild des Staatswagens eine Parallele in den chinesischen Staatsschriften. In einer Schrift des Staatsmannes Tsui Schi (geschrieben 151 n. Chr.) steht: "Heute hat der Lenker des Staatswagens die Zügel zur Erde gleiten lassen. Die vier Hengste haben ihr Gebiß abgestreift und rennen quer "[110].

3.7 Nun soll die metaphorische Verwendung der Worte kybernétes und kybernân in der politischen Sphäre behandelt werden. Vollständigkeit der Stellen ist natürlich nicht möglich, aber zusammen mit dem Bild des Staatsschiffes dürften die Hauptlinien der Bedeutungsentfaltung doch deutlich werden.

Wiederum muß Pindar (etwa 520 - 445 v. Chr.) erwähnt werden, der in den Pythien (X, 72 f.) sagt: "Bei den Tüchtigen liegt die rechtschaffene ererbte Lenkung der Städte (políon kybernásies)". Hier wird erstmalig das Hauptwort kybernásis (das Lenken) im übertragenen Sinn verwendet. Aus dieser Stelle ist auch die Ansicht Pindars erkennbar, daß adeliges Wesen nahe bei Gott ist und daß daher den Aristokraten die Lenkung des Staates zukomme[111]. Bei Pindar wird gerade durch das Wort kybernân eine Zielstrebigkeit ausgedrückt, das überlegene Walten göttlicher Macht, das vorbedachte Lenken - womit an die Zusammengehörigkeit von Steuermann und Einsicht in den homerischen Epen erinnert wird. Die unberechenbare, ungeordnete Bewegung, etwa eines Lavastromes, wird durch das Verbum kylíndesthai (rollen, wälzen) ausgedrückt[112].

Den abstrakten Sinn von Lenken, Leiten beziehungsweise Lenker, Leiter erhalten die Worte kybernân und kybernétes bei Plato, also 100 Jahre nach Pindar. Zuweilen kann man bei Plato einen fast synonymen Gebrauch von kybernân und árchein (herrschen, an der Spitze stehen) feststellen[113]. Gerade der Steuermann wird bei Plato neben dem Wagenlenker, dem Arzt, dem Hirten, dem Feldherrn und sogar dem Weber als Vergleich für die Tätigkeit des Staatsmannes herangezogen[114]. Besonders erwähnenswert ist eine Stelle aus den "Nomoi"[115]: "Erhalten nicht in einem Schiffe der Steuermann und die Schiffsmannschaft sich selbst und das Schiff nebst Zubehör, indem sie die Sinneswahrnehmungen mit der steuermännischen Vernunft verbinden?" Zusammen mit dem späteren (Nomoi 962 a) Beispiel vom Feldherrn, der die Feinde besiegt, und dem Arzt, der die Gesundheit des Körpers rettet, wird hier nämlich der Steuermann mit dem Archetypus des Retters verknüpft, eine Verknüpfung, die bei Plato auch an anderen Stellen (Politeia 346 a, Politikos 298) und bei Aristoteles[116] aufscheint. Die Begriffe Heil, Sicherheit, Rettung werden also mit der Kunst des Steuermanns wie auch der Kunst des Staatsmanns verbunden.

Die Schrift "Aristoteles an König Alexander über die Welt" wird meist als nicht von Aristoteles stammend angesehen. Es steht darin jedoch ein politisch interessanter Satz: "Überhaupt, was im Schiff der Steuermann bedeutet, im Wagen der Wagenlenker, im Chor der Chorführer, in der Stadt das Gesetz, im Heere der Führer, das ist Gott in der Welt, nur daß jene alle ihr Amt müde macht... [117]". Gott wird hier zum unpersönlichen Gesetz in Beziehung gesetzt, hingegen sind die anderen Beispiele Personen, wie der Steuermann und der Wagenlenker.

An dieser Stelle soll auch auf die Frage eingegangen werden, warum der Steuermann und nicht der Schiffsherr in der politischen Literatur bildlich gebraucht wird. Die Antwort ist wohl die, daß der Souverän des Staates (der Schiffsherr als "Eigentümer" des Schiffes) nach der herrschenden griechischen Auffassung das Volk ist, soweit es sich um Demokratien handelt, und in Aristokratien die oligarchische Adelskaste. Die Regierung als ´Exekutive´ wird nur von wenigen oder nur von einem einzigen ausgeübt, der sozusagen im Auftrag des Schiffsherrn als einziger Steuermann das Schiff lenkt [118).]

Seit Pindar, spätestens aber seit Plato werden die Worte kybernétes und kybernãn auch in abstrakter Bedeutung verwendet. Interessant ist auch bei den späteren griechischen Schriftstellern der Zusammenhang, in dem diese Worte stehen. In den Mimiamben des Herondas (2. Hälfte des 3. Jahrhunderts v. Chr.) heißt es zum Beispiel, daß der Prozeß mit "geradem Spruch" (orthé gnóme) gelenkt wird [119)]. Einen ähnlichen Bezug auf die Klugheit oder Besonnenheit nimmt eine Stelle bei dem griechischen Historiker Polybios (um 220 - 120 v. Chr.): "Nicht jede Alleinherrschaft darf ohne weiteres Königtum heißen, sondern nur die, welche von den Untertanen als solches anerkannt wird und die das Regiment mit Einsicht, nicht mit Gewalt und Terror führt (kybernoménen)"[120)]. Wieder ist es die Einsicht, mit der regiert werden soll.

3.8 Es wurde schon erwähnt, daß bei der häufigen[121)] Verwendung der lateinischen Worte gubernator und gubernare bei Cicero immer noch das Bild vom Staatsschiff zugrundeliegt. Zum eigentlichen Terminus "regieren" ist gubernare bei Cicero noch nicht geworden[122)]. Das wird auch dadurch bestätigt, daß gubernator und gubernare Lieblingsausdrücke Kaiser Justinians sind und ihr Vorkommen in der justinianischen Kodifikation auf spätere Einschübe (Interpolationen) schließen lassen[123)].

Der Historiker Eduard Meyer hat nachzuweisen versucht, daß Cicero mit seiner Schrift "De republica" eine theoretische Formulierung der Stellung, die Pompeius für sich anstrebte, darlegen wollte und zugleich die Grundzüge der Staatsordnung, die Augustus im Prinzipat verwirklichte, beschrieben hat[124)]. Eduard Meyer schließt dies - ohne es ausdrücklich zu sagen - auch aus dem Singular der Worte, mit denen bei Cicero der Staatsmann geschildert wird: rector, moderator, procurator, princeps und eben auch gubernator civitatis[125)]. Gegen diese Ansicht wendet sich Richard Heinze in seinem Aufsatz "Ciceros ´Staat´ als politische Tendenzschrift"[126)]: Für Cicero verbinde sich mit den Ausdrücken rector und gubernator rei publicae usw. nicht der Begriff des E i n e n. An Hand einiger Zitate begründet Heinze, wie selbstverständlich es für Cicero ist, daß "der

römische Staat von einer Mehrzahl von Männern, nicht von einem einzelnen geleitet wird" [127].

Dennoch wird man sagen können, daß dem Bild vom Steuermann des Staatsschiffes - wenn auch bei weitem nicht so stark wie beim Staatswagen - eine Tendenz innewohnt, nur e i n e r solle letztlich die Entscheidungsinstanz im Staate sein. Als wohl gänzlich politisch neutraler Beleg sei der "christliche Cicero", Lactantius (um 300 n. Chr.), angeführt: "In dieser Welt können also nicht viele Lenker sein, wie auch in einem Haus nicht viele Herren sein können, noch in einem Schiff viele Steuerleute, noch in einer Rinder- oder Schafherde viele Leittiere, aber nicht einmal am Himmel können viele Sonnen sein wie in einem Leib nicht viele Seelen; die ganze Natur ist auf Einheit hin angelegt" [128].

Diese Übersicht über den Bedeutungswandel von kybernétes und kybernān im Griechischen und auch von gubernator und gubernare im Lateinischen hat eine große Erweiterung aus der ursprünglichen, nautischen Sphäre in die Bereiche der Kosmologie und der Politik gezeigt. Das Bild vom Staatsschiff als Hintergrund haben sich die in Rede stehenden Worte zu abstrakten Begriffen von Lenken, Leiten (beziehungsweise Lenker, Leiter) entwickelt. Die Stufe des Bedeutungsumfanges, den heute die Fremdworte Gouverneur, Gouvernement, Gubernium haben, ist somit schon vor 2000 Jahren erreicht worden.

Parallel zum Abschnitt über den wortgeschichtlichen Zusammenhang von gubernare im Lateinischen und den entsprechenden Formen in den romanischen Sprachen soll jetzt noch die Bedeutung und der Bedeutungswandel im Lateinischen ab der Zeit Ciceros und in den Romanischen Sprachen sowie im Englischen dargelegt werden.

In der Zeit zwischen Cicero (106 - 43 v. Chr.) und Kaiser Justinian (482 - 565 n. Chr.), besonders ab etwa 400 n. Chr., werden die lateinischen Ableitungen von kybernétes und kybernān, gubernator und gubernare immer mehr zu echt politischen Fachtermini. Bei den Scriptores historiae Augustae (das sind mehrere Autoren einer Lebensbeschreibung der römischen Kaiser zwischen den Jahren 117 und 284 n. Chr.; die Entstehungszeit dieser Lebensbeschreibung ist umstritten, dürfte aber um 380 n. Chr. anzusetzen sein) taucht der Ausdruck rem publicam gubernare fast ebenso oft auf wie rem publicam gerere oder regere [129].

Im 5. Jahrhundert erweitert sich die Bedeutung von gubernare auf das Lenken und Besorgen der Angelegenheiten von Personen. Dabei kann gubernare neben regieren, verwalten sogar die Bedeutung von ernähren haben. In den Rechtsquel-

len der Spätantike drückt man mit gubernare eine Verwaltung in höherem Auftrag aus, einerseits eine private Guts- und Vermögensverwaltung, andererseits die Führung von Staatsämtern[130]. Unter Kaiser Justinian begegnet man gubernator und gubernare besonders häufig[131]. Die unter Justinian übliche Formel "Romanum gubernans imperium" findet man verschiedentlich auf italienischen Papyri aus dem 6. Jahrhundert[132], sie wird später Bestandteil der Kaisertitulatur Kaiser Karl des Großen. Interessant bei Justinian ist noch, daß das griechische basileūs im Lateinischen mit gubernator wiedergegeben wird[133] (und auch umgekehrt). Das veranschaulicht den eigenen Weg, den die lateinische Ableitung von kybernétes gegangen ist.

Diese Verwendung im Zusammenhang mit der Kaisertitulatur hat gubernator im Lauf des Mittelalters eingebüßt. Der Kaiser wurde wieder vorwiegend mit imperator oder princeps bezeichnet. Der Sinn von "Verwalten im fremden Auftrag" bezog sich bei Justinian auch auf das Verhältnis Gott - Kaiser, in der späteren Zeit wird er nur mehr auf das Verhältnis von Herrscher zu seinen Untergebenen angewendet. Das ist sowohl aus dem Latein des Mittelalters[134] wie auch aus den romanischen Sprachen[135] zu erkennen. So bezeichnet gobernación (gobierno) in Spanien und Südamerika das Ministerium des Inneren[136], der Gouverneur war in Frankreich ursprünglich der Titel des mit der Prinzenerziehung Beauftragten und in Österreich hieß 1762 - 1848 die oberste Verwaltungsbehörde eines Kronlandes Gubernium[137].

Im Italienischen bedeutet governare leiten, lenken und governo die Regierung; im Englischen to govern regieren, herrschen und government Regierung, Herrschaft (sogar mehr im Sinn von unserem "Staat"), governor den Statthalter aber auch (technisch) den Regulator. Aus dem Französischen (gouverner = herrschen, steuern) kamen Gouvernante (Erzieherin), Gouvernement und Gouverneur, aber auch Gouvernail (oder Gubernal), ein altes Wort für Fahrradlenkstange (eigentlich Steuerruder), als Fremdwörter in die deutsche Sprache.

## 4. Andere Verwendungen des Wortes Kybernetik

4.1 Erst nachdem Norbert Wiener den Ausdruck "Kybernetik" für sein Buch gewählt hatte, stellte er fest, daß ein entsprechendes Wort schon von dem Physiker André-Marie Ampère verwendet worden war[138], und zwar in einem ausgesprochen politischen Sinn. Die Verwendung von "Cybernétique" für eine Wissenschaft von den möglichen Verfahrensweisen einer Regierung[139] ist vor dem Hintergrund des Bedeutungswandels von kybernétes über gubernator bis zum französischen gouverner leicht verständlich.

4.2 Im 1. Brief des Apostels Paulus an die Korinther taucht das Wort kybernéseis bei der Aufzählung der verschiedenen Charismen auf, den persönlich-gnadenhaften Gaben, die der einzelne innerhalb der Kirche haben kann, wie die Sprachenbegabung, die Gabe, Wundertaten zu vollbringen usw. Dabei ist auch von einer Begabung zur "Verwaltung" oder "Regierung" die Rede[140]. Auf diese Stelle dürfte die in der evangelischen Praktischen Theologie als "Kybernetik" bezeichnete Lehre vom Amt und der Kirchenverfassung zurückgehen. In einer Quellensammlung zu dieser "Kybernetik" werden als erste Quelle die Kirchenverfassung nach dem ersten Clemensbrief (um 95 n. Chr.), dem Ignatiusbrief (vor 107 n. Chr.) und dem Polykarpbrief (um 115 n. Chr.) genannt[141].

## 5. Antike Schiffsorganisation

5.1 Bei der Behandlung der Frage, wie kybernétes im Deutschen wiederzugeben sei, wurde schon das Problem der antiken Schiffsorganisation gestreift. Die Stellung und Aufgabe des kybernétes soll der Vollständigkeit halber hier noch einmal knapp behandelt werden. Dabei ist zu bemerken, daß das überlieferte Quellenmaterial nicht sehr zahlreich und nicht sehr ergiebig ist. Man ist daher genötigt, sich aus vielen und bei verschiedenen Schriftstellern verstreuten Stellen mühsam ein Bild vom antiken Seewesen zusammenzufügen.

Über die Kriegsschiffe der Griechen und Römer ist das Quellenmaterial ergiebiger als über die Handelsschiffe. Kommandant eines Kriegsschiffes einer griechischen Stadtflotte war der Trierarch, zuweilen auch ein Nauarch. Dessen Macht war aber meist durch seine mangelhaften nautischen Kenntnisse beschränkt, so daß er sich weitgehend dem allerdings von ihm selbst gewählten kybernétes anvertrauen mußte[142]. Es wurde schon oben erwähnt, daß man im Steuermann (kybernétes - gubernator) den ersten Offizier eines Schiffes zu erkennen hat, in dessen Händen die gesamte Navigation lag. Für gewöhnlich führte der kybernétes nicht selbst das Ruder; dazu bediente er sich gewöhnlich der besten Ruderer aus der Mannschaft. "Im einzelnen die Aufgaben des Steuermanns zu schildern, ist unmöglich; sie sind so mannigfach, wie es die nautische Obsorge für ein Fahrzeug und seine durchschnittlich wenigstens 200 Mann starke Besatzung mit sich bringen kann. Der gewöhnliche Platz des kybernétes war das Achterschiff, von wo aus er seinen Dienst versah"[143].

Dem Steuermann zur Seite stand als zweiter Offizier der proreús (lateinisch proreta), der Untersteuermann. Sein Platz war auf dem Vorderschiff, von wo aus er den Wind und die Fahrbahn zu beobachten hatte. Unmittelbar dem Steuermann war auch der keleustés (hortator), der Aufseher über die Ruderer unterstellt[144].

Neben diesen nautischen Offizieren war der pentekóntarchos für die administrativen Aufgaben, vorwiegend Bezahlung und Verpflegung der Besatzung zuständig, worüber er allein dem Schiffsherrn verantwortlich war[145]. Zu der Besatzung der griechischen Kriegsschiffe gehörten neben diesen Offizieren noch die Rudermannschaft und für gewöhnlich noch einige Mann "Marineinfanterie".

5.2 Infolge des Mangels an schriftlichen Quellen über die Handelsschiffe ist sowohl die Frage der Haftung der Reeder wie auch die Rolle des Steuermanns und sein Verhältnis zum magister navis ("Kapitän") umstritten[146]. Auf den Handelsschiffen fehlte "die Masse der Ruderer, dafür war eine größere Anzahl von Matrosen zur Bedienung der Segel vorhanden". Über die Anzahl der Matrosen wie die der Offiziere ist nur wenig überliefert. Neben dem Kapitän oder Schiffsherrn wird natürlich ein Steuermann vorhanden gewesen sein. Ein Mann muß auch den vom Kriegsschiff her bekannten Dienst des proreús ausgeübt haben. Auf den größeren Handelsschiffen, die sich mit Personentransport befaßt haben, wird vielleicht jemand mit der Beaufsichtigung der Passagiere und ihrer Habe betraut gewesen sein[147]. Als naúkleros wurde im Griechischen der Reeder oder Schiffseigentümer, aber auch der Kapitän bezeichnet, im Lateinischen heißt der Reeder in den juristischen Quellen meist exercitor[148] (worunter Reeder und Ausrüster verstanden wurde), später zumeist navicularius[149]. Die Schiffseigentümer waren vielfach selber Kaufleute und werden mit den émporoi, den Großkaufleuten, zusammen genannt. Johannes Hasebroek [150] unterscheidet folgendermaßen: "Naukleros ist der Händler, der im Besitze eines eigenen Schiffes ist und auf diesem Schiff, gewöhnlich in eigener Person, seine Händlertätigkeit ausübt; Emporos (ursprünglich der einfache Passagier) der Händler ohne eigenes Schiff, der auf fremden Schiffe, eben dem Schiffe eines Naukleros, der ihn mitnimmt, seine Waren befördert."

Der naúkleros, exercitor oder navicularius setzte, wenn er nicht selbst auf dem Schiffe mitfuhr, einen magister navis ein, der etwas ungenau als "Kapitän" verstanden werden muß. In einer Untersuchung über die Frage des Verhältnisses von magister und gubernator (Steuermann) navis für das römische Schiffahrtsrecht (die Frage gilt gleichermaßen für das griechische Schiffahrtsrecht)[151] wurde nachzuweisen versucht, daß dem magister navis keinerlei Einfluß auf die Fahrt und Navigation des Schiffes zustand. Anhand der Analyse einschlägiger Stellen aus den justinianischen Digesten (besonders D 9.2.29; 14.1.1; 19.2.13.2; 39.4.11.2; 50.6.6) und auch nichtjuristischen Schriftstellern meint der Autor, die besondere, vom magister ziemlich unabhängige Stellung des gubernator navis nachweisen zu können. Dem magister navis seien nur die mit der Fahrt verbundenen geschäftlichen Aufgaben vom exercitor navis anvertraut worden. Das zeige sich auch darin, daß wohl immer nur ein gubernator, aber mehrere magistri bestellt

werden konnten (D 14.1.1.13). Das Versprechen und die Verpflichtung des gubernator habe darin bestanden, das Schiff heil, ohne Verlust an Hab und Gut, in den vereinbarten Hafen zu führen. Diese besondere Verantwortung, die der auch von Seneca als Kunst (ars) bezeichneten Tätigkeit des Steuermanns zukomme, äußere sich in der Haftung des gubernator navis: Er hafte nicht nur für culpa, sondern auch für höhere Gewalt. Seine Verpflichtung entspreche nicht einem Dienstvertrag eines Untergeordneten (locatio conductio operarum), sondern einer selbständigen Tätigkeit (locatio conductio operis, mandatum)[152]. Demgegenüber hebt Antonio Guarino [153] hervor, daß magister und gubernator navis vielfach ein und dieselbe Person waren[154]. Wenn jedoch ein magister navis an Bord war, sei der gubernator ihm untergeordnet gewesen.

Für diese Unterordnung des Steuermanns unter den Schiffsherrn oder Kapitän könnte auch als früher Beleg aus Griechenland ein dem Homer zugeschriebener Hymnus herangezogen werden: Als tyrrhenische Seeräuber den Gott Dionysos gefangennehmen, will der besonnene Steuermann des Schiffes den Gott an Land setzen, der Kapitän aber hofft auf hohes Lösegeld und befiehlt die Weiterfahrt. Der Gott Dionysos zeigt schließlich seine Wundermacht, der Kapitän wird getötet, die Schiffer in Delphine verwandelt, der Steuermann aber reich belohnt [155]. Auch in der Tragödie des Euripides "Helena", heißt es von Menelaos, daß er dem Steuermann neuen Kurs nach Griechenland befahl[156].

Aus diesen Ausführungen ersieht man wohl, daß man sich bei einer verallgemeinernden Verwendung der Hierarchie auf den antiken Schiffen als frühes Beispiel für kybernetische Instanzen der Fragen, die damit zusammenhängen, bewußt sein muß. Das gilt für die Rolle des Kapitäns als "Sollwertgeber" und für den Steuermann, wobei vor allem kybernétes nicht mit Lotse wiedergegeben werden sollte.

## 6. Kybernetiké - Steuermannskunst

6.1 Das Wort kybernetiké ist sprachlich die unmittelbare Entsprechung zum modernen Wort "Kybernetik". Die Kunst des Steuermanns wurde im Altertum überaus hoch geachtet, sonst wäre das Wort kybernétes nicht einer solchen Bedeutungsentfaltung unterlegen. Der Steuermann repräsentierte in der Antike eine spezifische Seite des Menschseins, die Bewältigung der Gefahr, das Wagnis, die Kühnheit, überlegenen Elementen zu widerstehen und trotz allen Wirrnissen das Ziel zu erreichen. Beim Kirchenschriftsteller Eusebius (260 - 339 n. Chr.) liest man: "Der Mensch allein von allen Wesen der Erde vertraut dem kleinen Stück eines Holzbaums sein Leben an, lenkt das Schiff auf dem Rücken des Meeres,

überläßt sich den Tiefen des feuchten Elementes und stößt den Tod zurück, der ihm zur Seite steht, zum Himmel blickend auf den Steuermann des Weltalls"[157].

Neben dem Mut gehörte zur Kunst des Steuermanns seine Fähigkeit, jeweils den Standort des Schiffes bestimmen zu können, seine Vertrautheit mit den Sternen.

Schon wiederholt hervorgehoben wurde die Einsicht, Klugheit und Besonnenheit, die dem Steuermann schon in den homerischen Epen zugesprochen wurde. Dieser Zusammenhalt von Einsicht (gnóme, phróntis, mẽtis) und der Tätigkeit des Steuermannes (kybernãn) zeigt sich - das beweisen die in dieser Untersuchung wiedergegebenen Stellen wohl zur Genüge - in der griechischen Literatur auch in der übertragenen Bedeutung von kybernãn und kybernétes im abstrakten Sinn von Lenken. Darin liegt auch ein Grund für die große Verbreitung des Vergleichs von Staatsmann und Steuermann und des Bildes vom Staatsschiff. Der Steuermann lenkt zielstrebig, übt aber keine Herrschaft aus! Sein Steuern umfaßt die genaue Analyse der jeweiligen Situation, den Vergleich mit dem aufgetragenen Ziel und - soweit er sich hierzu keines Hilfssteuermanns bediente - das Bewegen des Steuerruders, wozu keine starken körperlichen Kräfte notwendig sind. Seine Stärke ist die geistige Überlegenheit über die machtvollen Naturgewalten, die Schlauheit, nicht die Gewalt! Zur Einsicht gehören somit auch - um ein Wortspiel zu gebrauchen - die Rücksicht auf das Leben und das Eigentum der Passagiere und der Besatzungsmitglieder, aber auch die Vorsicht und die Voraussicht, Wetterveränderungen rechtzeitig zu begegnen. Mit dem Begriff der Eintracht, der notwendigen reibungslosen Zusammenarbeit aller Besatzungsmitglieder auf dem Schiff, ergibt das eine schöne Charakterisierung der Aufgaben eines Staatsmannes.

Die Ablehnung der Gewalt, das Hervorheben der "Dominanz des Geistigen" beim Steuermann, steht auch hinter dem modernen Bild vom Staat bei Simone Weil, worin den staatlichen Institutionen gleichsam als Steuerruder die Funktion zukommt, im rechten Augenblick durch einen leichten Druck eine Störung des Gleichgewichts innerhalb des Kräftespiels des politischen Bereichs schon im Beginn auszugleichen[158]. In diesem Zusammenhang müssen auch Gedanken von Werner Schöllgen beachtet werden: Die Griechen hatten Angst, Handwerkern (bánausos) die Regierung anzuvertrauen, denn die Kunst der Politik soll nicht so betrieben werden wie der Handwerker mit Hammer und Meißel seinem Material die Form aufzwingt. Politik beruht auf der Macht des Wortes und der Diskussion. Die Griechen hatten Sorge, käme ein Handwerker an die Regierung, würde dieser auch Politik mit dem Hammer machen[159]. Die häufige Verwendung des Vergleiches Steuermann - Staatsmann wird damit von einer anderen Seite her beleuchtet und verständlich. Werner Schöllgen warnt vor den technomorphen

Modellen und deren Weiterentwicklung, den technokratischen Modellen: An die Stelle von Hammer und Meißel treten bei letzteren Maschinen. Unter Berufung auf die Lehre von den Grenzsituationen bei Karl Jaspers glaubt Schöllgen von einem Absinken des technokratischen Denkens sprechen zu können. In den entscheidenden Fragen, im Leid, in der Stellung dem Tode gegenüber, könnte die Technokratie nicht helfen. - Es ist hier nicht der Ort, diese Einwände, die sich auch gegen viele Zielsetzungen und Ergebnisse der Kybernetik richten, ausführlich zu behandeln. Zu einem Teil dürfte die scharfe Ablehnung technomorpher und technokratischer Modelle auf einem Vorurteil gegen die Technik beruhen[160]. Als technokratisches Modell kann natürlich auch der Regelkreis angesehen werden, insbesondere, wenn vorgeschlagen wird, die Struktur des Staates mit Hilfe des Regelkreismodells zu begreifen. Wie aber weiter oben schon dargelegt wurde, scheint der technische Regelkreis nur eine Form einer menschlichen Grunderfahrung zu sein, die sich auch in einer zyklischen Zeitauffassung wiederspiegelt. Man will etwas beibehalten, eine Größe aufrechterhalten und dabei auftretende Störungen jeder Art möglichst ausschalten. Der Versuch, das Regelkreismodell mit einer religionswissenschaftlich nachgewiesenen Zeit- und Geschichtsauffassung zu verbinden, die Behauptung, Regelungssysteme seien auf jeder Seinsstufe aufzufinden, und das antike Bild des kybernētes als eines einsichtsvollen Lenkers, dessen Macht nicht auf Gewalt, sondern auf Klugheit beruht, für den Staatsmann geben doch eine gute Grundlage dafür ab, das Regelkreismodell auf den Staat anzuwenden. Der Einwand, man dürfe ein technisches Modell nicht auf gesellschaftliche Beziehungen, nicht auf das politische Gemeinwesen anwenden, dürfte somit - wenigstens was das Prinzipielle anlangt - wohl ausgeräumt worden sein.

6.2 Albert Ducrocq folgend hat Helmar Frank versucht, mittels der Schiffshierarchie von Kapitän - Steuermann - Ruderer ein Schema kybernetischer Instanzen aufzustellen[161]. Der Kapitän setzt das Ziel, wobei er die Fähigkeit haben muß, zwischen verschiedenen möglichen Zielen auswählen zu können. Der "Lotse" ermittelt den augenblicklichen Zustand und entwirft ein Programm, diesen Istzustand in den vom Kapitän gewünschten Zielzustand überzuführen. Der "Steuermann" ordnet den Befehlen des "Lotsen" die Stellungen des Steuerruders zu. Das Antriebssystem (im primitiven Fall die Ruderer) leistet die physikalische Arbeit und führt die gewünschten Veränderungen der Situation durch.

Auch nach den in dieser Arbeit aufgeworfenen Fragen kann dieses Schema im wesentlichen beibehalten werden. Man kann sogar die zweite kybernetische Instanz (die auf Grund des Istzustandes das Programm entwirft) mit kybernētes bezeichnen, um den Wortzusammenhang kybernētes - "Kybernetik" auszunützen. Man muß sich nur bewußt sein, daß die Verhältnisse auf den antiken Schiffen

von diesem verallgemeinernden Schema auch abweichen konnten. Vor allem soll man die Benennungen der Funktion des "Lotsen" und des "Steuermanns", weil sie - wie oben dargelegt - auf falschen Voraussetzungen aufbauen, ändern. Den Istzustand stellt der Steuermann, der erste Offizier auf dem Schiff, fest und gibt die Anweisung("Programmentwicklung") über die notwendige Ruderstellung an den tatsächlich am Ruder stehenden "Mann am Steuerruder" oder Hilfssteuermann.

Um das Modell des Regelkreises folgerichtig zu beschreiben, muß noch eine Änderung am Schema von Helmar Frank vorgeschlagen werden. Der Mann am Steuerruder bewirkt eine Veränderung des Ruders, und die physikalische Wirkung dieser veränderten Stellung des Ruders ist die Richtungsänderung des Schiffes. Bei Helmar Frank scheinen Richtungsänderung (oder Beibehaltung) und Antriebssystem in e i n e m Regelkreisschema auf. Für den Gesamtkomplex "Schiff" bestehen zweifellos zwei Regelkreise, einer zur Steuerung der Fahrtrichtung, der andere zur Steuerung der Fortbewegung des Schiffes. Die Änderung der Richtung, die der Steuermann auf Grund der Lagebestimmung (Istzustand) befiehlt, muß nämlich nicht eine Änderung der Fortbewegung bedingen, wie es jedoch der Fall wäre, wenn u n t e r der kybernetischen Instanz des Mannes am Steuerruder noch die des Antriebssystems bestünde. Der Vergleich mit einem Segelschiff macht das vielleicht deutlicher. Hier kann der Steuermann, in der Funktion dessen, der Ist- und Sollzustand zu vergleichen und die entsprechende Planung - Programmentwicklung - zu treffen hat, ohne weiteres dem Mann am Steuerruder befehlen, das Ruder gleich wie bisher zu halten, den Matrosen, denen die Stellung der Segel obliegt, eine Änderung dieser Stellung befehlen. Nimmt man die Schiffshierarchie auf antiken Schiffen als frühes Paradigma für einen Regelkreis und zur Aufstellung eines Schemas kybernetischer Instanzen, wären somit auf einem Schiff zwei Regelkreise zu unterscheiden. Der die Fahrtrichtung betreffende Regelkreis würde folgende "kybernetische" Instanzen umfassen:

K a p i t ä n als Sollwertgeber oder Zielsetzer.
S t e u e r m a n n (kybernḗtes): vergleicht Ist- und Sollwert.
M a n n a m S t e u e r r u d e r: führt den Befehl des Steuermanns aus und bewirkt durch die Stellung des Ruders als
S t e l l g l i e d (Effektor) die Beeinflussung der Außenwelt.

## 7. S c h l u ß

Will man in einer Untersuchung wie der vorliegenden gewisse Parallelen zwischen Antike und Gegenwart ziehen, gerade was das Politische betrifft, so muß

man sich bewußt sein, daß die Voraussetzungen im Altertum ganz verschieden von denen der Gegenwart sind. Vorbehalte sind jedenfalls nötig. Diese betreffen in diesem Zusammenhang vor allem
1. die gänzlich andere Auffassung vom Göttlichen in der Antike,
2. damit verknüpft, eine andere Zeitauffassung,
3. den Unterschied zwischen dem Charakter der antiken Polis sowie des römischen "Staates" und dem modernen Staat, und
4. schließlich die völlig andere Art der modernen, auf dem Experiment beruhenden Naturwissenschaften.

Zu 1) Der griechische Gottesbegriff braucht in diesem Zusammenhang nicht ausführlich dargelegt werden, eine knappe Erwähnung ist aber notwendig, weil sich nur von dem griechischen Gottesbegriff her die antike Einstellung zur Zeit sowie der andersartige Charakter des antiken "Staates" (der Polis) erklären lassen. Karl Rahner bemerkt, daß mit theós bei den Griechen nicht die Einheit einer bestimmten Persönlichkeit im monotheistischen Sinn gemeint ist, sondern vielmehr die trotz aller Vielgestaltigkeit klar empfundene Einheit der religiösen Welt, des den Menschen umgebenden Kosmos. Die griechischen Göttergestalten sind nichts anderes als Grundgestalten der Weltwirklichkeit. Die Götter sind daher die als Ordnung, Form und Sinn die Welt durchwaltenden und das Chaotische in ihr immer wieder aufs neue bändigenden Mächte. "Theos bleibt letztlich ein Prädikatsbegriff, und das Subjekt dieses Kosmos ist der Kosmos "[162].

Zu 2) Infolge dieser Umfassung des griechischen Menschen durch den göttlichen Kosmos konnte auch eine auf Zukunft, auf Fortschritt gerichtete Zeitauffassung nicht entstehen. Das griechische Zeitdenken war wesenhaft kreisförmig, der unaufhörlichen Bewegung der Sterne, welcher alle irdischen Ortsbewegungen entspringen und die das Urmaß für Zeit und Geschichte ist, entsprechend[163]. Das zeigte der Mythos von den gegenläufigen Zeitaltern in Platos Dialog "Politikos" (272 d ff). Dieser zukunftsarmen Zeitauffassung der Griechen steht die wesentliche auf Zukunft gerichtete Zeitauffassung der Moderne gegenüber. Hier hat die Zeit linearen Charakter, ist fortschreitend, zielstrebig. Das moderne Fortschrittsdenken wird meist als eine Säkularisation der christlich-eschatologischen Idee aufgefaßt[164]. Auch die in der modernen Philosophie häufige Betonung der Geschichtlichkeit und Zeitlichkeit hat in dieser neuen Zeitauffassung ihren Ursprung[165].

Jüngstes Ergebnis der linearen Zeitauffassung sind die Bemühungen um eine "Wissenschaft von der Zukunft". Karl Steinbuch versteht unter "Zukunftsforschung" alle diejenigen wissenschaftlichen Bemühungen, welche die Information über zukünftige technische und politische Situationen liefern. Sie beruht auf der sorg-

fältigen Analyse der Entwicklungstendenzen und der Absicht, wahrscheinliche Aussagen über deren Fortsetzung in der Zukunft zu machen[166]. In dieser Zukunftsforschung oder Futurologie (Ossip Kurt Flechtheim prägte diese Bezeichnung im Jahre 1943) konvergieren Ergebnisse von verschiedenen Wissenschaften wie Politik, Wirtschaftswissenschaften, Kybernetik, aber auch - wie bei Pater Pierre Teilhard de Chardin - Paläontologie und Biologie. Von der Theologie her begrüßt Ladislaus Boros eine Wissenschaft von der Zukunft[167] und auch von pädagogischer Seite wird gegen die Phantasiearmut und die Überbetonung der Vergangenheit in der Schule Stellung bezogen[168]. Mit der wie die Kybernetik als Universaldisziplin gedachten Zukunftsforschung wird eine Verbindung von Politik und Kybernetik hergestellt. Zur Kunst der Politik gehört wesensgemäß das Vorausschauen und das entsprechende Planen, wobei Berechnungen durch Computer wertvolle Hilfsdienste leisten können.

Zu 3) Mit der umfassenden kosmischen Gottesvorstellung ist auch der allumfassende Charakter der antiken Polis (und des Römischen "Staates") verbunden. Die antike Polis hatte sowohl (transzendent-)religiöse wie (immanent-)politische Funktionen. Heute ist an diese Stelle der Gegensatz Staat - Kirche getreten. In der Antike nahm der Staat die Religion als eine unmittelbare Staatsaufgabe und Staatsangelegenheit war. Das führte in der Folge zu den Auseinandersetzungen von Urchristentum und römischem Staat[169].

Der moderne Staat ist eine säkulare Anstalt, die sich seit dem späten Mittelalter entfaltete. Bei der Übertragung der auch am Beispiel des Steuermanns erhellten Funktionen des Staatsmannes in die Gegenwart ist aus diesem Grunde Vorsicht angebracht.

Zu 4) Für die Entfaltung der modernen Naturwissenschaften ist das Experiment, der Eingriff in die Natur, wesentlich; in der Antike und bis ins hohe Mittelalter wurde kaum experimentiert[170]. Die Entfaltung der modernen Naturwissenschaften ist Ergebnis einer gänzlich neuen Weltsicht und eine solche, vom Weltbild der Antike verschiedene Zeit- und Weltauffassung steht auch zwischen den Automaten, die schon die Antike kannte[171], und den modernen Rechenmaschinen, die auf das 17. Jahrhundert zurückgehen (Wilhelm Schickard, Blaise Pascal)[172]. Dazu sei auf einen, wie es Ernst Jünger nennt, großen Auftritt unserer Geschichte verwiesen: Der Heilige Albertus Magnus (Albert von Bollstädt, 1193(?) - 1280) hatte einen Androiden konstruiert, der in Köln seine Gäste begrüßte und ihnen die Tür öffnete. Als dieser Automat dem Schüler und Ordensbruder Alberts, dem Heiligen Thomas von Aquin (1225 - 1274) die Tür öffnete, zerstörte Thomas, den dieser unvermutete Anblick erschreckte, dieses Wesen durch Stockschläge.

Es wird behauptet, daß Thomas von Aquin damit das Produkt dreißigjähriger Arbeit vernichtet habe[173]. Heute würde man solche Androiden als technische Spielerei ansehen und es gilt vielmehr, ein harmonisches Verhältnis zwischen Mensch und Computer, der vielen Menschen Angst vor dem Verlust des Arbeitsplatzes einjagt[174], herzustellen.

Mircea Eliade schreibt, daß gerade ab dem 17. Jahrhundert die lineare und fortschrittliche Zeitauffassung besondere Kraft gewinnt[175]. In diese Zeit fallen auch das moderne mathematische und naturwissenschaftliche Denken und die Ursprünge der Logistik (Leibniz "Mathesis universalis" - wobei natürlich Vorläufer im späten Mittelalter vorhanden sind: Raimundus Lullus mit seiner ars combinatoria und die naturphilosophisch interessante "Impetustheorie"). Aus diesen Ansätzen entfalteten sich praktisch alle der heute in der Kybernetik zusammengefaßten Disziplinen (wie Zeichentheorie, Boolesche Algebra, Spieltheorie, Automatentheorie usw.). In diesen Ansätzen und nicht, wie das griechisch klingende Wort "Kybernetik" vielleicht glauben machen könnte, im antiken Griechenland liegen die mathematischen Quellen für den heute so breiten Strom der kybernetischen Teilgebiete. –

Das Wort "Kybernetik" ist, wie in dieser Wortgeschichte nachgewiesen wurde, sehr alt. Es reicht bis zu einem nicht näher bekannten Mittelmeervolk der Steinzeit zurück.

Unmittelbares terminologisches Ergebnis dieser Arbeit ist, daß kybernétes und Kybernetik sprachlich und inhaltlich nichts mit der Funktion eines Lotsen zu tun haben.

Noch Norbert Wiener meinte, daß die Sozialwissenschaften "kein guter Exerzierplatz für die Ideen der Kybernetik" seien: "Die Kybernetik bedeutet" - nach Norbert Wiener - "nichts, wenn sie nicht mathematisch ist ..."[176]. Doch wird heute immer mehr, gerade in den Oststaaten, versucht, die Kybernetik (als Leitungswissenschaft) auch für den sozialen Bereich nutzbar zu machen. Dazu wurde in dieser Untersuchung der historische Hintergrund gezeigt: Gerade der Steuermann (kybernétes), an dem Einsicht, Klugheit und Besonnenheit in der Antike gerühmt wurden, war das Vorbild für die Regelung gesellschaftlicher Verhältnisse (in der Polis). Nicht Gewalt, sondern genaue Kenntnis aller Umstände und echtes Können kennzeichnen seine Tätigkeit. Damit ist diese Wortgeschichte zugleich ein Beitrag zu einer Allgemeinen Regel(kreis)theorie, der Helmar Frank nach der Nachrichtentheorie, Nachrichtenverarbeitungstheorie und vor der Systemkomplextheorie die dritte Stufe in seinem Vierstufenschema der Allgemeinen (Formalen) Kybernetik zuweist[177].

Knapp erwähnt wurde auch der mögliche Zusammenhang des Regelkreisgedankens mit der zyklischen Zeitauffassung, was anhand eines Mythos aus einem Dialog Platos illustriert wurde. Eine wenn auch zufällige "Verbindung" zwischen einer hochspezialisierten kybernetischen Anlage (einem Beobachtungsautomaten) und der Mythologie ereignete sich im Bereich der Weltraumfahrt: Die am 28. November 1964 gestartete amerikanische Marssonde Mariner 4 funkte im Juli 1965 aus 200 Millionen Kilometer Entfernung Bilder vom Mars (aus etwa 15.000 Kilometer Höhe) zur Erde. Diese Marssonde mußte ihren Kurs an einem Leitstern ("Sollwertgeber") ausrichten, am Stern Canopus im von den Griechen so genannten Sternbild Schiff Argo, das in der Astronomie heute aufgeteilt ist in die Sternbilder Puppis (Hinterteil des Schiffes), Pyxis (Schiffskompaß), Vela (Segel) und Carina (Kiel des Schiffes), wo sich auch der Stern Canopus befindet.

Der Stern Canopus hat nun seinen Namen ausgerechnet nach einem kybernétes, nach dem Steuermann des Menelaos, Kanobus (oder Kanopus). Kanobus führte Menelaos und Helena nach der Eroberung Trojas von Rhodos nach Ägypten. Dort starb Kanobus angeblich an einem Schlangenbiß und nach seinem Tod bezeichnete man den hellsten Stern im Schiff Argo nach ihm[178]. So begegneten sich modernste Ergebnisse der Kybernetik und der Ruhm eines Steuermanns (Kybernétes), der für würdig befunden wurde, unter die Sterne versetzt zu werden.

Anmerkungen:

1) Karl Steinbuch, Grundsätzliche Überlegungen zur Kybernetik, in: Universitätstage 1965 - Wissenschaft und Planung, Berlin, 1966, S. 61; derselbe, Automat und Mensch - Kybernetische Tatsachen und Hypothesen, 3. Auflage, Berlin-Heidelberg-New York, 1965, S. 325.

2) Probleme der Kybernetik (Redaktion Aleksij A. Ljapunow), 1. Band, Berlin, 1962, S. VII, 2. Band, Berlin 1963, S. 8.

3) Wolfgang Wieser, Artikel "Kybernetik" in: Handwörterbuch der Sozialwissenschaften, Band 12 (Nachtrag), Stuttgart-Tübingen-Göttingen, 1965, S. 628.

4) Helmut Krauch, Wege und Ziele der Systemforschung, Dortmund o.J. (1963), besonders S. 37; Karl Steinbuch, Systemanalyse - Versuch einer Abgrenzung, Methoden und Beispiele, in: IBM-Nachrichten 1967 (April), S. 447.

5) Helmar Frank (Herausgeber), Kybernetische Maschinen, Frankfurt a.M., 1964, S. 8.

6) Louis Couffignal, Kybernetische Grundbegriffe, Baden-Baden 1962, S. 38 ff.

7) Vladimir Richter, Untersuchungen zur operativen Logik der Gegenwart, Freiburg-München 1965, S. 9 ff.

8) Erwin Mehl, Kybernetik: Steuerungslehre in: Wiener Sprachblätter 1966, S. 165.

9) Karl Steinbuch, Automat und Mensch, 3. Auflage, Berlin-Heidelberg-New York 1965, S. 325.

10) Theodor Haecker, Essays, München, 1958, S. 258.

11) Eberhard Lang, Staat und Kybernetik - Prolegomena zu einer Lehre vom Staat als Regelkreis, Salzburg-München, 1966.

12) René Marcic, Mensch - Recht - Kosmos, Wien 1965, S. 9.

13) Norbert Wiener, Mathematik - Mein Leben, Düsseldorf - Wien 1962, S. 278 und 273; (jetzt auch in der Fischer-Bücherei Nr. 668, Frankfurt a.M. 1965).

14) A.a.O., S. 278.

15) Hermann Bengtson, Griechische Geschichte von den Anfängen bis in die Kaiserzeit, 3. Auflage, München 1965, S. 31; Fritz Schachermeyr in seinem Artikel "Prähistorische Kulturen Griechenlands" in: Pauly - Wissowa, Realencyclopädie der classischen Altertumswissenschaft, Band XXII (44. Halbband),

Stuttgart 1954, Spalte 1498; Massimo Pallottino, Die Etrusker, Frankfurt a.M. 1965 (Fischer-Bücherei Nr. 604), S. 33; aus der älteren Literatur: Eduard Meyer, Geschichte des Altertums, 1. Band, 2. Hälfte, 5. Auflage, Stuttgart und Berlin 1926, S. 762 ff.

16) Dafür treten die Gelehrten A.J. van Windekens und V. Georgiev ein; kritisch z.B. Fritz Schachermeyr, a.a.O., Sp. 1534 ff; Johannes Hubschmid, Mediterrane Substrate, Bern 1960, S. 62 und 85 ff; Lexikon der Alten Welt, Zürich und Stuttgart 1965, Spalte 1145.

17) Fritz Lochner - Hüttenbach, Die Pelasger, Wien 1960, S. 181.

18) Johannes Hubschmid, a.a.O., S. 24 und 89 ff.

19) Durch die Einwanderung der Griechen um 1950 vor Christus wurde dann die Tendenz zur Urbanisierung zwar nicht aufgehoben, aber abgeschwächt. (Rudolph von Ihering, Vorgeschichte der Indoeuropäer, Leipzig 1894, S. 38: "Für Griechen ...kann die Bekanntschaft mit dem Städtebau nur auf die Berührung mit höher fortgeschrittenen Völkern zurückgeführt werden.") Fritz Schachermeyr bemerkt (a.a.O., Sp. 1487): "Für alle künftige griechische Geschichte sollte es aber von höchster Bedeutung werden, daß die Zuwanderer, welche in ihren indogermanischen Ausgangsbereichen keinerlei urbanes Siedeln gekannt hatten, im ägäischen Bereich auf eine bereits recht deutlich ausgeprägte und aufblühende Urbanität stießen. Erst hierdurch hob sich ihr Schicksal von dem der in anderen Bereichen des Balkans eingewanderten Indogermanenschwärme ab. So kann man sagen, daß der urbane Charakter der ägäischen Kultur nicht nur deren eigenen Aufstieg ermöglichte, sondern später auch für die griechische Kulturentwicklung den entscheidenden Ansporn darbot." In der späteren griechischen Polis lebt so ein Teil des Kulturgutes der mutterrechtlich organisierten Urbevölkerung Griechenlands weiter. Interessant ist in diesem Zusammenhang, daß möglicherweise auch das griechische Wort pólis (= ptólis, Stadt oder Burg) - das heute noch in "Politik" und "Polizei" weiterlebt - einen vorgriechischen, nichtindogermanischen Ursprung hat: So Paul Kretschmer, Die protindogermanische Schicht, in: Glotta XIV/1925, S. 312; Weriand Meringen in: Gedenkschrift Paul Kretschmer, II. Band, Wien 1957, S. 57 (Vergleich mit dem chaldischen ptari = Stadt); Fritz Schachermeyr, a.a.O., Spalte 1516 und 1544. Als unwahrscheinlich abgelehnt von Günter Neumann, Der lykische Ortsname Patara in: Beiträge zur Namensforschung, Band 6/1955, S. 114, Anmerkung 4.

20) Fritz Schachermeyr, a.a.O., Spalte 1481 ff.; Ernst Kornemann, Die Stellung der Frau in der vorgriechischen Mittelmeerkultur, Heidelberg 1927. Nach Plato (Politeia 575 d) nannten die Kreter das Vaterland "Mutterland". Siehe auch Adolf Ellegard Jensen, Gab es eine mutterrechtliche Kultur? in: Studium generale 1950, S. 418-433.

21) Hermann Bengtson, a.a.O., S. 29; Fritz Schachermeyr, a.a.O., Sp. 1489 ff; Lexikon der Alten Welt, a.a.O., Sp. 1142.

22) Hermann Bengtson, a.a.O., S. 31.

23) Eduard Schwyzer, Griechische Grammatik, I. Band, München 1939, S. 62; Albin Lesky, Thalatta. Der Weg der Griechen zum Meer, Wien 1947, S. 14; Wilhelm Brandenstein, Griechische Sprachwissenschaft I, Berlin 1954, S. 9; Hermann Bengtson, a.a.O.; Massimo Pallottino, a.a.O., S. 33.

24) Dieser Ansicht ist A.J. van Windekens, Études Pélasgiques, Louvain 1960, S. 66 ff.

25) So zum Beispiel Paul Kretschmer, Literaturbericht für das Jahr 1925, in: Glotta XVI/1928, S. 166; A. Walde - J.B. Hofmann, Lateinisches etymologisches Wörterbuch 1. Band, Heidelberg 1938, S. 625; J.B. Hofmann, Etymologisches Wörterbuch des Griechischen, München 1949, S. 163; Hjalmar Frisk, Griechisches etymologisches Wörterbuch, II. Band, Heidelberg 1961, S. 38; Manu Leumann - Johann B. Hofmann - Anton Szantyr, Lateinische Grammatik, 2. Band: Lateinische Syntax und Stilistik, München, 1965, S. 32* (Anhang: Allgemeiner Teil der lateinischen Grammatik). Aus der älteren Literatur: C. Capelle, Vollständiges Wörterbuch über die Gedichte des Homeros und der Homeriden, 9. Auflage, Leipzig 1889, S. 347, Anmerkung 1 und 2; Walther Prellwitz, Etymologisches Wörterbuch der griechischen Sprache, 2. Auflage, Göttingen 1905; Émile Boisacq, Dictionnaire étymologique de la langue grecque, Heidelberg - Paris 1923, S. 527 f.

26) Erwin Mehl, Kybernetik: Steuerungslehre, in: Wiener Sprachblätter 1966, S. 165. - Für die rechtsgeschichtliche Forschung wird es allerdings kaum möglich sein - es sei denn, neue und zahlreiche schriftliche Quellen werden entdeckt und entziffert -, auf den Spuren der Sprachwissenschaft tiefer in die Welt der Mittelmeervölker vorzudringen. Unwiderlegt bleibt so die Behauptung bei Strabo über Tartessos in Südspanien, die Tartessier hätten 6000 Jahre alte Gesetze bessessen (Geographika, III. Buch, 6 = C 139, The Geography of Strabo II. Band, Cambridge-London, Loeb Classical Library, 1949, S. 12).

27) A. Meillet, Esquisse d'une histoire de la langue latine, Paris 1966, S. 92; Franz Altheim, Geschichte der lateinischen Sprache von den Anfängen bis zum Beginn der Literatur, Frankfurt a.M. 1951, S. 234 f.; Ernest Klein, A Comprehensive Etymological Dictionary of the English Language, Volume I, Amsterdam - London - New York 1966, S. 671.

28) Massimo Pallottino, Die Etrusker, Frankfurt a.M., 1965, S. 189; Leumann Hofmann - Szantyr, Lateinische Grammatik, 2. Band: Lateinische Syntax und

Stilistik, München 1965, S. 33 * (= Anhang: Allgemeiner Teil der lateinischen Grammatik).

29) Als eine "bizarra etimologia" bezeichnet Antonio Guarino die Etymologie des Wortes gubernator bei Isidor von Sevilla, Origines sive Etymologiae, 19, 1, 4: "Gubernio, qui et gubernator, quasi cohibernator, quod cohibeat sua prudentia hiberna, id est tempestates maris" - Antonio Guarino, "Magister" e "gubernator" navis, in: Labeo 11/1965, S. 37, Anmerkung 11.

30) Thesaurus linguae latinae, Volumen VI/2, Leipzig 1934, Spalte 2341 ff.

31) W. Meyer-Lübke, Romanisches Etymologisches Wörterbuch, 3. Auflage, Heidelberg 1935, Nr. 3903; Französisches Etymologisches Wörterbuch, 4. Band, Basel 1952, S. 299-302.

32) A New English Dictionary on Historical Principles, Volume IV, Part II, Oxford 1901, S. 317 ff.; Ernest Klein, A Comprehensive Etymological Dictionary of the English Language, Volume I, Amsterdam - London - New York, 1966 S. 671.

33) Norbert Wiener, Kybernetik, 2. Auflage, Düsseldorf-Wien, 1965, S. 39; man vergleiche auch Norbert Wiener, Beginn und Aufstieg der Kybernetik, in: Grundfragen der Kybernetik (Forschung und Information, Band 1), Berlin 1967, S. 9-13, besonders S. 11.

34) Das belegen alle einschlägigen Lexika, z.B. Menge - Güthling, Enzyklopädisches Wörterbuch der griechischen und deutschen Sprache, 1. Teil: Griechisch- Deutsch, 19. Auflage, Berlin-München-Zürich 1965, S. 408; Henry George Liddell - Robert Scott, A Greek - English Lexicon, Oxford 1953, S. 1004; W. Pape's Griechisch Deutsches Handwörterbuch, 1. Band, 3. Auflage, Braunschweig 1888, S. 1522; weitere Angaben bei Johannes Erich Heyde, Kybernetes = "Lotse"? in: Sprache im technischen Zeitalter 1965, S. 1276 ff.

35) So werden in der Odyssee, IV. Gesang, Vers 708, die Schiffe "Pferde des Meeres" genannt.

36) C. Capelle, Vollständiges Wörterbuch über die Gedichte des Homeros und der Homeriden, 9. Auflage, Leipzig 1889, S. 250; Franz Miltner, Artikel "Seewesen" in: Pauly-Wissowa, Realencyclopädie der classischen Altertumswissenschaft, Supplementband V, Stuttgart 1931, Sp. 941 ff.

37) Homer, Odyssee, III. Gesang, Verse 278-283, Deutsch von Thassilo von Scheffer.

38) Das Verbum ist phronéo. Die Phrónesis ist charakteristisch für die früh-

aristotelische Philosophie und ist als prudentia bei Cicero Kennzeichen des wahren Staatsmanns (Siehe R. Stark, Ciceros Staatsdefinition, in: Richard Klein (Herausgeber), Das Staatsdenken der Römer, Darmstadt 1966, S. 342 ff.). In den "Nomoi" (701 d) erwähnt Plato die Phrónesis, die Herrschaft der Vernunft neben der Freundschaft (soziale Eintracht) und der Freiheit als eines der drei Staatsziele. Zur Übernahme dieser Dreiheit durch Cicero vergleiche man Viktor Pöschl, Römischer Staat und griechisches Staatsdenken bei Cicero, 2. Auflage (Nachdruck), Darmstadt 1962, S. 19 ff; Werner Suerbaum, Vom antiken zum frühmittelalterlichen Staatsbegriff, Münster 1961, S. 27 f.

39) Karl Heinz Kaiser, Das Bild des Steuermanns in der antiken Literatur, maschinenschriftliche Dissertation Erlangen 1953, S. 14.

40) Z.B. Homer, Ilias, XXIII. Gesang, Verse 316-318:"Einsicht begünstigt auch den Steuermann, sicher das schnelle Schiff auf finsterem Meer im Treiben der Winde zu lenken. Einsicht läßt einen Lenker die anderen Lenker besiegen", deutsch von Thassilo von Scheffer (Leipzig 1938).

41) Albert Ducrocq, Die Entdeckung der Kybernetik. Über Rechenanlagen, Regelungstechnik und Informationstheorie, Frankfurt a.M. 1959, S. 6.

42) Odyssee, Verse 556 ff. Deutsch von Wolfgang Schadewaldt, Zürich-Stuttgart 1966, S. 144 (= Rowohlts Klassiker, Band 29/30, Hamburg 1958, S. 107 f.).

43) Der jonische Naturphilosoph Thales von Milet deutet den Magnetismus auch als "Beseeltheit" des Steins (Diels - Kranz, Fragmente der Vorsokratiker, 1. Band, Zürich-Berlin 1964, S. 68 und 73). Man beachte auch den Titel eines Buches von Gotthard Günther, Das Bewußtsein der Maschinen, 2. Auflage, Krefeld und Baden-Baden 1963.

44) Frankfurt a.M. 1959; französisches Original: Découverte de la Cybernétique, Paris 1955.

45) In den früheren Auflagen (vor 1965) des von ihm herausgegebenen Sammelwerkes "Kybernetik - Brücke zwischen den Wissenschaften". Vgl. auch Helmar Frank, Kybernetik und Philosophie, Berlin 1966, S. 25 ff.

46) Albert Ducrocq, a.a.O., S. 20.

47) Louis Couffignal, Kybernetische Grundbegriffe, Baden-Baden 1962, S. 9 und 45; Lexikon der Kybernetik, Quickborn 1964, S. 74, S. 87 (Kybernetik sei Lotsenwissenschaft), S. 96 f.; Mathematik 2 (Das Fischer Lexikon 29/2), Frankfurt a.M. 1966, S. 168; Karl Steinbuch, Automat und Mensch, 3. Auflage, Berlin-Heidelberg-New York 1965, S. 322; Wolf Rohrer, Ist der Mensch konstruierbar? München 1966, S. 24; Helmar Frank hat in der 5. Auflage des von ihm heraus-

gegebenen Sammelbandes "Kybernetik - Brücke zwischen den Wissenschaften", Frankfurt a.M. 1965, unter Berücksichtigung der Einwände von J.E. Heyde die Gleichsetzung kybernétes = Lotse nicht mehr verwendet, die kybernetische Instanz "Lotse" jedoch beibehalten; siehe auch Helmar Frank, Kybernetik und Philosophie, Berlin, 1966, S. 26 ff.

48) Johannes Erich Heyde, Kybernetes = "Lotse"? Ein terminologischer Beitrag zur Kybernetik, in: Sprache im technischen Zeitalter 1965, S. 1274-1286 (1280). Somit war es auch nicht möglich, die Behauptung zu verifizieren, Plutarch habe Lotse und Steuermann unterschieden. Sowohl das bei Plutarch erwähnte Kybernesienfest hat nichts mit "Lotsen" zu tun (Albin Lesky, Thalatta, Wien 1947, S.25; Plutarch, Große Griechen und Römer, eingeleitet und übersetzt von Konrat Ziegler, Band I, Zürich und Stuttgart 1954, S. 54 (= Theseus 17)) und auch in der Lebensbeschreibung des Agis ist von einem Steuermann, dem die Vorschiffsmatrosen gehorchen, die Rede (Plutarch, a.a.O., Band VI, 1965, S. 175 (= Agis 1)).

49) Hans Jürgen Abraham, Das Seerecht, Berlin 1956, S. 66; im Großen Brockhaus 16. Auflage, 7. Band, Wiesbaden, 1955, S. 330 wird die Lotsentätigkeit wie folgt umschrieben: "Erfahrener, mit dem höchsten Befähigungszeugnis (Patent) ausgestatteter Seemann, der für einen bestimmten Bereich eine Sonderausbildung erhalten hat und eingehende Ortskenntnis in seinem Revier besitzt. Er dient der Schiffsführung als nautischer Berater."

50) Albert Ducrocq, Die Entdeckung der Kybernetik, Frankfurt a.M., 1959, S. 6.

51) Albert Ducrocq, a.a.O., S. 20.

52) Franz Miltner, Artikel "Nautai" in: Pauly-Wissowa, Realencyclopädie der classischen Altertumswissenschaft, Band XVI, Stuttgart 1935, Spalte 2031.

53) Aristophanes, Sämtliche Komödien, 1. Band, Zürich 1952, S. 79 f., Verse 540 ff.

54) Franz Miltner, a.a.O., Spalte 2031 f.

55) Hermann Kees, Ägypten (Kulturgeschichte des alten Orients, 1. Abschnitt), München 1933, S. 108, Abbildung auf Tafel 33.

56) Johannes Hasebroek, Staat und Handel im alten Griechenland. Untersuchungen zur antiken Wirtschaftsgeschichte, Tübingen 1928, S. 85.

57) Z.B. übersetzt Konrat Ziegler in: Plutarch, Große Griechen und Römer, Band VI, Zürich und Stuttgart 1965, S. 175, kybernétes mit Steuermann; in Plutarch´s Lives, Vol. X, Cambridge-London (Loeb classical Library) 1959, S. 3, übersetzt Bernadotte Perrin in derselben Stelle (Agis I) kybernétes mit ship s captain.

58) Erich Ziebarth, Beiträge zur Geschichte des Seeraubs und Seehandels im alten Griechenland, Hamburg 1929, S. 75 f.

59) Mit "Steuermann" wird kybernētes übersetzt z.B. in: The Hibeh Papyri, part I, London 1906, Nr. 98 (= S. 270 f.); The Oxyrhynchus Papyri, part XXII, London 1954, Nr. 2347 (= S. 136 f.); Friedrich Preisigke, Fachwörter des öffentlichen Verwaltungsdienstes Ägyptens, Göttingen 1915, S. 114; Edwin Mayser, Grammatik der griechischen Papyri aus der Ptolemäerzeit, Band I, III. Teil, 2. Auflage, Berlin und Leipzig o.J. (1935), S. 76; W. Peremans und J. Vergote, Papyrologisch Handboek, Leuven 1942, S. 278. - Mit "Kapitän" wird kybernētes übersetzt z.B. in: Griechische Papyri zu Gießen (= Pap. Giss. I), Band I, Leipzig und Berlin 1912, S. 48 f. (= Nr. 11); Zenon Papyri, volume I, (= Columbia Papyri, Greek Series), New York 1934, S. 113 f. (= Nr. 44, Zeile 2) und S. 108 f (Nr. 43), volume II, New York 1940, S. 10 und 12 (= Nr. 63,2) und S. 23 (= Nr. 68). - Siehe auch Paul M. Meyer, Juristische Papyri, Berlin, 1920, S. 139 (= Nr. 43); Friedrich Oertel, Die Liturgie, Aalen 1965 (Neudruck), S. 123; Wolfgang Kunkel, Verwaltungsakten aus spätptolemäischer Zeit, in: Archiv für Papyrusforschung, 8. Band/1927, S. 185 f.; Friedrich Preisigke, Wörterbuch der griechischen Papyrusurkunden, Berlin 1925, Spalte 845 f.

60) Dazu Peter Wust, Ungewißheit und Wagnis, 6. Auflage, München und Kempten 1955.

61) Siehe Denys L. Page, Alcman., The Partheneion Oxford 1951, S. 7 und S. 95 f., Partheneion 94.

62) Isthmien, III + IV, Vers 89 (= Pindar, Siegeslieder, Frankfurt a.M. und Hamburg 1962 (Fischer Bücherei, Exempla classica 52), S. 140).

63) Franz Karl Mayr, Geschichte der Philosophie, I. Antike, Kevelaer 1966, S. 34.

64) Diels - Kranz, Die Fragmente der Vorsokratiker, 1. Band, Zürich - Berlin, 1964, S. 85, Zeile 18. - Siehe auch G.S. Kirk - J.E. Raven, The Presocratic Philosophers, Cambridge 1957, S. 115.

65) Diels - Kranz, a.a.O., S. 160, Fragment 41.

66) Diels - Kranz, a.a.O., S. 243, Fragment 12.

67) Karl Heinz Kaiser, Das Bild des Steuermanns in der antiken Literatur, maschinenschriftliche Erlanger Dissertation 1953, S. 203 - 212. - Auf einer in kyprischer Silbenschrift und in kyprischem Dialekt überlieferten Inschrift aus dem 4. Jahrhundert vor Christus heißt es: te-o-i ku-me-re-na-i pa(n)-ta - Olivier Masson, Les inscriptions chypriotes syllabiques, Paris 1961, S. 284. Kumerēnai ist eine Dialektform für kybernēsai.

68) Cicero, De natura deorum, I. Buch, § 52 und § 100.

69) Karl Heinz Kaiser, a.a.O., S. 82.

70) 272 e = Platon, Sämtliche Werke, Band V (Rowohlts Klassiker 47), Hamburg 1959, S. 29 f.

71) Mircea Eliade, Kosmos und Geschichte. Der Mythos der ewigen Wiederkehr (rde 260), Hamburg 1966, S. 115 f., auch S. 88 f., S. 110 (Anmerkung 37) und S. 132. Man vergleiche auch Wilhelm Kamlah, Christentum und Geschichtlichkeit, 2. Auflage, Stuttgart 1951; Friedrich Gogarten, Verhängis und Hoffnung der Neuzeit, Stuttgart 1953; Karl Löwith, Weltgeschichte und Heilsgeschehen, Stuttgart 1953; Artikel "Geschichtsphilosophie" (Iring Fetscher), in: Philosophie (Das Fischer Lexikon 11), Frankfurt a.M., 1958, S. 107-126.

72) Nach Mircea Eliade, a.a.O., S. 76 f. (Anmerkung 55).

73) Mircea Eliade, a.a.O., S. 73.

74) a.a.O., S. 102.

75) a.a.O., S. 125.

76) a.a.O., S. 115. Das beweisen die starre Zunftordnung, die strenge Hierarchie in Kirche und Staat, und das Kommentierverbot in Justinians Constitutio Tanta 21.

77) a.a.O., S. 117 f.

78) Medizin 1 (Das Fischer Lexikon 16), Frankfurt a.M. 1959, S. 24.

79) Lexikon der Kybernetik, Quickborn, 1964, S. 132. - Andere als die im Text vorgeschlagenen Begründungen des Regelkreisgedankens: Arno W. Reitz, Die Idee des Regelkreises, in: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 1966, S. 589 - 596, und vor allem Hermann Schmidt, Bemerkungen zur Weiterentwicklung der Allgemeinen Regelkreislehre, in: Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft, Band 3/1962, S. 76 f.

80) Eberhard Lang, Staat und Kybernetik. Prolegomena zu einer Lehre vom Staat als Regelkreis, Salzburg - München 1966.

81) Eberhard Lang, a.a.O., S. 90 f.

82) Darüber besonders Karl Heinz Kaiser, Das Bild des Steuermanns in der antiken Literatur, maschinenschriftliche Dissertation Erlangen 1953; J. Kahlmeyer, Seesturm und Schiffbruch als Bild im antiken Schrifttum, Dissertation Greifswald 1934; Wolfgang Gerlach, Staat und Staatsschiff, in: Das Gymnasium, 48/1937, S. 127 - 139; Albin Lesky, Thalatta, Wien 1947, S. 195 ff., S. 231 ff. und S.

320 (Anmerkung 261); V. Pöschl, H. Gärtner, W. Heyke, Bibliographie zur antiken Bildersprache,Heidelberg 1964.
- Möglicherweise geht die Verwendung des Bildes vom Staatsschiff auf das alte Ägypten zurück. In der Übersetzung eines Leidener Papyrus, etwa aus der Zeit um 2250 vor Christus, der die sogenannte "Rede Ipu´s des Edlen" enthält, heißt es: "Das Staatsschiff der Südlichen ist in Verwirrung. Die Städte sind aufgewühlt." (Zitiert aus Joachim Spiegel, Soziale und weltanschauliche Reformbewegungen im Alten Ägypten, Heidelberg 1950, S. 10).

83) Alkaios, herausgegeben von Max Treu, München 1952, S. 40 ff. und S. 148f.

84) Homer, Ilias, XV. Gesang, Verse 623 ff.

85) Verse 667 ff.

86) Albin Lesky, Thalatta, Wien 1947, S. 231; zahlreiche Stellen aus den attischen Tragödien und Komödien bei Wolfgang Gerlach, Staat und Staatsschiff, in: Das Gymnasium, 48/1937, S. 127-139.

87) Aischylos, Tragödien, Wiesbaden-Berlin o.J., S. 91 (Deutsch von Johann Gustav Droysen).

88) Hiketiden, 879 ff. = Euripides, Sämtliche Tragödien, 2. Band, Stuttgart 1958, S. 400.

89) 3. Philippische Rede 69 = Demosthenes I, Cambridge-London (Loeb classical Library), S. 260 f.

90) Platon, Sämtliche Werke, Band III (Rowohlts Klassiker 27/27 a), Hamburg 1958, S. 202 ff.

91) Platon, Sämtliche Werke, Band V (Rowohlts Klassiker 47), Hamburg 1959, S. 61.

92) Nomoi 758 a = Platon, Sämtliche Werke, Band VI (Rowohlts Klassiker 54), Hamburg 1959, S. 132.

93) Phokion 743 a = Plutarch, Große Griechen und Römer, Band IV, Zürich und Stuttgart 1957, S. 317 f. - Ähnlich spricht Plutarch in der Biographie des Aratos (Aratos 1045) vom Staatsschiff und bei Kleomenes 811 d = Plutarch, a.a.O., Band VI. Zürich und Stuttgart 1965, S. 155 f. und S. 209.

94) 52. Buch, 16. Kapitel, 3.

95) Richard Heinze, Vom Geist des Römertums, 3. Auflage, Darmstadt 1960, S. 157 (Anmerkung 26).

96) Z.B. De Divinatione II, 3 (cum gubernacula rei publicae tenebamus); Pro L. Murena 74; Pro P. Sestio 46 und 99.

97) In L. Calpurnium Pisonem 20 (in maximis turbinibus ac fluctibus rei publicae navem gubernassem).

98) Horatius Flaccus, Oden und Epoden, 12. Auflage, besorgt von Richard Heinze, Dublin - Zürich, S. 71 ff.; Horati carminum I, 14: O navis, referent in mare te novi fluctus.

99) M. Fabi Quintiliani institutionis oratoriae, herausgegeben von Ludwig Radermacher, 2. Teil, Leipzig 1959, S. 125 = VIII, 6,44: "quo navem pro re publica, fluctus et tempestates pro bellis civilibus, portum pro pace atque concordia dicit".

100) René Marcic, Der Staatsmann in der Demokratie, Salzburg - München 1966 S. 18, S. 39 und S. 42.

101) Simone Weil, Schwerkraft und Gnade, München 1954, S. 280.

102) Karl Heinz Kaiser, Das Bild des Steuermanns in der antiken Literatur, maschinenschriftliche Dissertation Erlangen 1953, S. 227 f. - Auch in Dantes "Monarchia", bei Erasmus von Rotterdam und Thomus Morus findet man das Bild vom Staatsschiff (Wolfgang Gerlach, Staat und Staatsschiff, in: Das Gymnasium, 48/1937, S. 139).

103) Hugo Rahner, Griechische Mythen in christlicher Deutung, Zürich 1945, S. 435. Damit verband sich in der frühchristlichen Denkweise das Bild vom Lebensschiff des einzelnen ("Schiffahrt des Lebens"), das zu Gott, dem ruhigen Hafen für alle hinsteuern muß.

104) Franz Altheim, Römische Religionsgeschichte, 2. Auflage, Berlin 1956, I: S. 17 und S. 74; II: S. 23, S. 28 und S. 157. Man denke auch an die prunkvollen Staatskarossen der Neuzeit.

105) Karl Heinz Kaiser, Das Bild des Steuermanns in der antiken Literatur, maschinenschriftliche Dissertation Erlangen 1953, S. 128 und S. 182.

106) Vom "Steur´im Gebiß der Rosse" ist die Rede bei Aischylos, "Die Sieben gegen Theben", Verse 203 ff; Aischylos, Tragödien, Wiesbaden und Berlin o.J. S. 97; siehe auch Homer, Ilias, XXIII. Gesang, Vers 318 und Odyssee, IV. Gesang, Vers 708.

107) Politeia 566 d = Platon, Sämtliche Werke, Band III (Rowohlts Klassiker 27/27 a), Hamburg 1958, S. 256.

108) Roland Poncelet, Cicéron - Traducteur de Platon, Paris 1957, S. 220 f.

109) Politikos 266 e = Platon, Sämtliche Werke, Band V (Rowohlts Klassiker 47), Hamburg 1959, S. 22. Ähnlich Nomoi 905 e und 641 a. - Beim griechischen Kirchenschriftsteller Eusebius (um 260 - 339 n. Chr.) steht das Bild von einem Viergespann im Zusammenhang mit der Verherrlichung Kaiser Konstantins (Johannes A. Straub, Vom Herrscherideal in der Spätantike, Stuttgart 1964, S. 53 f.).

110) Zitiert aus Franz Kuhn, Altchinesische Staatsweisheit, 3. Auflage, Zürich 1954, S. 166 und S. 167.

111) Dazu Erich Thummer, Die Religiosität Pindars, Innsbruck 1957.

112) a.a.O., S. 92.

113) Karl Heinz Kaiser, Das Bild des Steuermanns in der antiken Literatur, maschinenschriftliche Dissertation Erlangen 1953, S. 98, 113, 195.

114) Neben den schon oben erwähnten Stellen über Staatsschiff und Staatswagen z.B. Politikos 267 d,e (Staatshirte; 267 e: "Kehren wir also zu jenen Bildern zurück, mit denen wir notwendig immer die königlichen Herrscher vergleichen... zu dem edlen Steuermann und dem Arzte"); Politikos 279 b (Weber); Politeia 342 d,e (Arzt und Steuermann); Nomoi 961 e ff (Steuermann, Feldherr, Arzt); Nomoi 905 e (Vergleich der Herrscher mit Wagenlenkern, Steuermännern, Herrführern, Ärzten, Hirten).

115) 961 d = Platon, Sämtliche Werke, Band VI (Rowohlts Klassiker 54), Hamburg 1959, S. 317.

116) Politik 1276 b = Paderborn, 1959, S. 117 f. - Die Sotería des Staates (Bestand, Heil) spielt bei Aristoteles eine große Rolle.

117) Deutsch von Paul Gohlke (2. Auflage, Paderborn 1952, S. 70), der diese Schrift als echt ansieht.

118) Karl Heinz Kaiser. Das Bild des Steuermanns in der antiken Literatur, maschinenschriftliche Dissertation Erlangen 1953, S. 8.

119) Otto Crusius, Die Mimiamben des Herondas, Leipzig 1926, S. 89 = II,100.

120) Polybios, Geschichte, 1. Band, Zürich und Stuttgart 1961, S. 527 = VI,4, 2.

121) Darüber geben die einschlägigen Lexika Auskunft wie der Thesaurus linguae latinae, H. Merguet, Lexikon zu den Reden des Cicero, 2. Band, Darmstadt 1962 (Nachdruck), S. 434 f., H. Merguet, Lexikon zu den philosophischen Schriften Ciceros, 2. Band, Hildesheim 1961 (Nachdruck), S. 119 f. - Siehe

auch Jürgen Graff, Ciceros Selbstauffassung, Heidelberg 1963 S. 44 (gubernator rei publicae - ein Lieblingsbild Ciceros).

122) Richard Heinze, Ciceros "Staat" als politische Tendenzschrift, in: Richard Heinze, Vom Geist des Römertums, 3. Auflage, Darmstadt 1960, S. 157 (Anmerkung 26).

123) Wilhelm Kalb, Das Juristenlatein, Aalen, 1961 (Neudruck), S. 80.

124) Eduard Meyer, Caesars Monarchie und das Prinzipat des Pompeius, Stuttgart und Berlin 1918, S. 176-190, bes. S. 187 f.

125) a.a.O., S. 181. Cicero, De republica II,51 und V, 6.

126) Richard Heinze, Vom Geist des Römertums, 3. Auflage, Darmstadt 1960, S. 141-159; auch in Richard Klein (Herausgeber), Das Staatsdenken der Römer, Darmstadt 1966, S. 291-314.

127) Richard Heinze, Vom Geist des Römertums, a.a.O., S. 143; die Stellen, die Heinze zur Begründung angibt, sind Cicero, De oratore I,211 und Pro C. Rabirio perduellionis 26.

128) Lactantius, De ira Dei - Vom Zorne Gottes, Darmstadt 1957, S. 36 ff = 11,4.

129) Carolus Lessing, Scriptorum historiae Augustae Lexicon, Hildesheim 1964, S. 229.
Über die Verwendung der Worte gubernator und gubernare - aber auch des Bildes vom Staatsschiff - in der Zeit zwischen Cicero und Justinian ausführlich Cesare Maria Moschetti. Gubernare navem - gubernare rem publicam. Contributo alla storia del diritto marittimo e del diritto pubblico romano, Mailand 1966.

130) Peter Classen, Romanum gubernans imperium, in: Deutsches Archiv für Erforschung des Mittelalters, 9/1952, S. 107.

131) So begegnet man dem Verbum allein in der Constitutio Imperatoriam vom 21. November 533 gleich zweimal. Vgl. auch Robertus Mayr, Vocabularium Codicis Justiniani, pars prior, Prag 1923, S. 1156.

132) Siehe Jan-Olof Tjäder, Die nichtliterarischen Papyri Italiens aus der Zeit 445-700 (I. Papyri 1-28), Lund 1955, S. 240, 304,348.

133) Peter Classen, Romanum gubernans imperium, a.a.O., S. 112.

134) Domino du Cange, Glossarium mediae et infimae Latinitatis, IV. Band, Niort 1885, S. 127 (gubernum = regimen, praefectura); Eugen Haberkern und

Joseph Friedrich Wallach, Hilfswörterbuch für Historiker (Mittelalter und Neuzeit), Bern und München 1964, S. 252 ff. und S. 262 (gubernator = Landvogt).

135) In den Romanischen Sprachen dehnt sich das Anwendungsfeld der auf gubernare zurückgehenden Verben von steuern, leiten, verwalten auch auf ernähren, besorgen (auch Pferde-), pflegen aus: Französisches Etymologisches Wörterbuch, 4. Band, Basel 1952, S. 299-302; W. Meyer-Lübke, Romanisches etymologisches Wörterbuch, 3. Auflage, Heidelberg 1935, Nr. 3903 (= S. 332).

136) Haberkern - Wallach, a.a.O., S. 252.

137) Haberkern - Wallach, a.a.O., S. 262. Die oberste russische Verwaltungseinheit hieß Gouvernement oder Gubernija (S. 253 f.).

138) Norbert Wiener, Mathematik - Mein Leben, Düsseldorf - Wien 1962, S. 278.

139) André-Marie Ampère, Essai sur la philosophie des sciences ou exposition analytique d´une classification naturelle de toutes les connaissances humaines, seconde partie, Paris 1843, S. 140 f. Ampère beruft sich dabei ausdrücklich auf das griechische Wort kybernetiké.

140) Paulus, 1. Brief an die Korinther 12,28. Joseph Brosch, Charismen und Ämter in der Urkirche, Bonn 1951, S. 125 f., behauptet, daß mit den genannten kybernéseis Dienstleistungen niederen Ranges gemeint waren.

141) Carl Clemen (Herausgeber), Quellenbuch zur praktischen Theologie, 3. Teil: Quellen zur Lehre von der Kirchenverfassung (Kybernetik), Gießen 1910 (von church-government unter Bezugnahme auf 1. Kor. 12,28 ist die Rede in "The Form of Presbyterial Church-Government", a.a.O., S. 63 f.).

142) Franz Miltner, Artikel "Nautai" in: Pauly-Wissowa, Realencyclopädie der classischen Altertumswissenschaft, Band XVI, Stuttgart 1935, Sp. 2032.

143) a.a.O., Sp. 2031.

144) a.a.O., Sp. 2030 f.

145) a.a.O., Sp. 2032.

146) Zur Frage der Haftung der Schiffer in der Antike: Christoph Heinrich Brecht, Zur Haftung der Schiffer in der Antike, München 1962 (= Münchener Beiträge zur Papyrusforschung und Antiken Rechtsgeschichte, 45. Heft); zur Haftungsgrundlage bei der actio exercitoria: Sven Erik Wunner, Contractus, Köln - Graz 1964, S. 105-133; zum römischen Schiffahrtsrecht und Seerecht überhaupt; Paul Huvelin, Études d´histoire du droit commercial Romain, Paris 1929; Max Kaser, Das Römische Privatrecht, 1. Abschnitt, München 1955, S. 228 und 508; Adolf

Berger, Encyclopedic Dictionary of Roman Law, Philadelphia 1953, S. 462 und 484; Panayotis K. Sotiropoulos, Die Beschränkung der Reederhaftung, Berlin 1962, S. 4-40; Francesco M. de Robertis, D. 19,2,31 e il regime dei trasporti marittimi nell' ultima età repubblicana, in: Studia et documenta historiae et iuris, XXXI/1965, S. 92-109; über die Nachwirkung des antiken Seerechts im Mittelalter: Slavomir Condanari-Michler, Zur frühvenetianischen Collegantia, München 1937 (= Münchener Beiträge zu Papyrusforschung und Antiken Rechtsgeschichte, 25. Heft).

147) Franz Miltner, a.a.O., Sp. 2033.

148) Z.B. Corpus iuris civilis, Institutionen IV, 7.2; Digesten 4.9.1.3 und 14.1.1.15; Basilicorum, LIII, 1, I und II.

149) Ulpian, Digesten 4.9.1.3; Ernst Levy, Weströmisches Vulgarrecht - Das Obligationenrecht, Weimar 1956, S. 72 f. (Anmerkung 271); Max Kaser, Das Römische Privatrecht, 2. Abschnitt, München 1959, S. 68 (Anmerkung 15).

150) Johannes Hasebroek, Staat und Handel im alten Griechenland, Tübingen, 1928, S. 2 f.

151) Cesare Maria Moschetti, Il "gubernator navis", in: Studia et documenta historiae et iuris, XXX/1964, S. 50-113.

152) Moschetti, a.a.O., S. 113; zum Dienstvertrag Max Kaser, Das Römische Privatrecht, 1. Abschnitt, München 1955, besonders S. 474 ff. - Außer Acht bleibt in diesem Zusammenhang, daß sicherlich auch Sklaven als magister oder gubernator navis verwendet wurden (für den magister navis für die Zeit der Republik verneint von Sven Erik Wunner, Contractus, Köln-Graz 1964, S. 111).

153) Antonio Guarino, "Magister" e "gubernator navis"in: Labeo 11/1965, S. 36-42.

154) Das entspricht vor allem den oben bei der Behandlung der Bedeutung des Wortes kybernétes (Kapitän oder Steuermann) angegebenen Papyriquellen, aber auch dem Text eines Hafengesetzes von Thasos: Erich Ziebarth, Beiträge zur Geschichte des Seeraubs und Seehandels im alten Griechenland, Hamburg 1929, S. 76.

155) VII. Homerischer Hymnus an Dionysos: Allen-Halliday-Sikes, The Homeric Hymns, 2. Auflage, Oxford-Amsterdam 1963, S. 76 ff.

156) Helena 1610 = Euripides, Helena-Ion-Die Phönikerinnen-Alkestis, München 1963, S. 97. Siehe auch Homer, Odyssee, VIII. Gesang, Vers 162 (archôs nautáon) und die oben zitierte Stelle aus dem Dialog "Politeia" von Plato (487 e ff.).

157) Syrische Theophanie I, 54 - zitiert aus Hugo Rahner, Griechische Mythen in christlicher Deutung, Zürich 1945, S. 433.

158) Simone Weil, Schwerkraft und Gnade, München 1954, S. 280.

159) Werner Schöllgen, Gefährliche Denkmodelle, Vortrag im österreichischen Rundfunk am 26. März 1962. Siehe auch Hannah Arendt, Fragwürdige Traditionsbestände im politischen Denken der Gegenwart, Frankfurt a.M., o.J. (1957), S. 13.

160) Gegen ähnliche Auffassungen von Günther Anders (Die Antiquiertheit des Menschen, München 1961) und Friedrich Wagner (Die Wissenschaft und die gefährdete Welt, München 1964) wandte sich Simon Moser in seinem Einleitungsreferat bei den 23. Alpbacher Hochschulwochen 1967.

161) Helmar Frank, Was ist Kybernetik? in: Helmar Frank (Herausgeber) Kybernetik - Brücke zwischen den Wissenschaften, 5. Auflage, Frankfurt a.M. 1965, S. 13. Frank hat darin die Einwände Heydes berücksichtigt, aber die Instanz des "Lotsen" beibehalten. (Inzwischen ist dieser Sammelband schon in einer 6. Auflage erschienen); derselbe, Kybernetik und Philosophie, Berlin 1966, S. 25-28.

162) Karl Rahner, Schriften zur Theologie, Band I, Einsiedeln - Zürich - Köln 1962, S. 103 ff.; zur Entwicklung des Gottesgedankens im Abendland Albert Schaefer (Herausgeber), Der Gottesgedanke im Abendland, Stuttgart 1964.

163) Franz Karl Mayr, Geschichte der Philosophie, I. Antike, Kevelaer 1966, S. 33; Mircea Eliade, Kosmos und Geschichte(Rowohlts deutsche Enzyklopädie 260), Hamburg 1966; Ernst Bloch, Tübinger Einleitung in die Philosophie I (Edition Suhrkamp 11), Frankfurt a. M. 1963, S. 185 ff. (über "Differenzierungen im Begriff Fortschritt" S. 160-203).

164) Anderer Meinung Hannah Arendt, Fragwürdige Traditionsbestände im politischen Denken der Gegenwart, Frankfurt a. M., o.J. (1957), S. 86.

165) An die Stelle des zu "statisch" klingenden Wortes "Naturrecht" schlägt Josef Anton Stüttler die Bezeichnung "Geschichtlichkeitsrecht" vor, in: Echo der Zeit vom 26.3.1967 ("Die Fülle der Wirklichkeit verdorrte"). Siehe auch Arthur Kaufmann, Naturrecht und Geschichtlichkeit, Tübingen 1957; Ernst-Wolfgang Böckenförde, Die historische Rechtsschule und das Problem der Geschichtlichkeit des Rechts, in: Collegium philosophicum. Studien Joachim Ritter zum 60. Geburtstag, Basel und Stuttgart 1965, S. 9-36.

166) Karl Steinbuch, Die informierte Gesellschaft, Stuttgart 1966, S. 294 ff. - weitere Literatur: Ossip K. Flechtheim, Eine Welt oder keine? Frankfurt 1964; Wilhelm Fucks, Formeln zur Macht, Stuttgart 1965; Dennis Gabor, Menschheit morgen, Bern 1965.

167) Ladislaus Boros in der Einleitung zu dem Buch von Wolf Rohrer, Ist der Mensch konstruierbar, München 1966, S. 7.- Dabei steht die Theologie aber vor einem gewissen Dilemma, da es im Matthäusevangelium (6,34) heißt: "Macht euch keine Sorgen um den morgigen Tag, denn der morgige Tag wird für sich selber sorgen."

168) Alfons Plankensteiner, Bildung und Schule. Wege zur Überwindung einer Krise, Wien 1960, S. 32 ff: "Die Toten regieren".

169) Dazu z.B. Karl Pieper, Urkirche und Staat. Paderborn 1935.

170) Über die philosophischen Grundlagen Eckart Heimendahl, Dialog des Abendlandes - Physik und Philosophie, München 1966, mit verschiedenen Beiträgen.

171) Dazu Franz Maria Feldhaus, Die Technik der Vorzeit, der geschichtlichen Zeit und der Naturvölker, 2. Auflage, München 1965, S. 46-56; Artikel "Automaten" in: Lexikon der alten Welt, Zürich und Stuttgart 1965, Sp. 418 f.

172) Karl Steinbuch, Automat und Mensch, 3. Auflage, Berlin-Heidelberg-New York 1965, S. 155 und 335.

173) Ernst Jünger, Das Sanduhrbuch, Berlin und Darmstadt 1957, S. 123.

174) Karl Steinbuch, Die informierte Gesellschaft, Stuttgart 1966, S. 254 ff.

175) Mircea Eliade, Kosmos und Geschichte (rde 260), Hamburg 1966, S. 118.

176) Norbert Wiener, Gott & Golem Inc., Düsseldorf - Wien 1965, S. 123 und S. 118.

177) Helmar Frank (Herausgeber), Kybernetische Maschinen, Frankfurt a.M. 1964, S. 10.

178) Artikel "Kanobus" in: Pauly-Wissowa, Realencyclopädie der classischen Altertumswissenschaft, Band X, Stuttgart 1919, Sp. 1869-1873, und "Kanopus", a.a.O., Sp. 1881-1883 sowie im Supplementband VII, Stuttgart 1940, Sp. 320 f.

Anschrift des Verfassers:
Dr. Eberhard Lang, A 6020 Innsbruck, Vogelweiderstr. 8